



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO



TÍTULO:

MÁQUINA DE ENSAYOS DE SONDAS LAMBDA MEDIANTE
CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO

AUTORES:

RODRIGUEZ LOPEZ, CARLES
FORS PUIGURIGUER, SERGIO

FECHA: Junio de 2019

Máquina de ensayos de sondas lambda mediante ciclos de choque térmico
Sergio Forns Puiguriguer y Carles Rodríguez López

APELLIDOS: FORNS PUIGURIGUER

NOMBRE: SERGIO

TITULACIÓN: GRADO INGENIERÍA MECÁNICA

PLAN: BOLONIA

DIRECTOR: SANZ COLLADO, GERARD

DEPARTAMENTO: EXPRESIÓN GRÁFICA

APELLIDOS: RODRÍGUEZ LÓPEZ

NOMBRE: CARLES

TITULACIÓN: GRADO INGENIERÍA MECÁNICA

PLAN: BOLONIA

DIRECTOR: SANZ COLLADO, GERARD

DEPARTAMENTO: EXPRESIÓN GRÁFICA

CALIFICACIÓN DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

FECHA DE LECTURA: 4 de Julio de 2019

Este proyecto tiene en cuenta aspectos medio ambientales?: ☐ Sí ☐ No

RESUMEN

Hoy en día la industria automovilística utiliza todos los conocimientos que a lo largo de los años el sector ha ido adquiriendo.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es la contaminación global. Es por ello que este sector está constantemente realizando investigaciones para reducir al máximo los gases contaminantes que los motores de combustión generan.

Este proyecto consiste en la realización de una máquina de ensayo de sondas lambda o sensores de oxígeno, solicitada por un importante fabricante para cubrir sus necesidades. Dicho fabricante requiere comprobar la calidad de su producto estrella según normas de calidad internas especificadas por el propio cliente.

El ensayo consiste en calentar los sensores de oxígeno hasta una temperatura de 400°C y acto seguido refrigerarlas por agua, provocando así un choque térmico, repitiéndose este proceso durante un número determinado de ciclos. Dicho efecto simula el paso de un vehículo por encima de un charco o en condiciones de lluvia, ya que dichos sensores van instalados en el sistema de escape de todo tipo de vehículos de combustión.

El proyecto incluye el diseño del sistema de control del proceso explicado, especificando los componentes elegidos y el motivo de su elección, así como el diseño mecánico de todo el sistema utilizando la herramienta CAD (Diseño por computación asistida) SolidWorks. Se muestran todas las cualidades y funcionalidades de la máquina mediante renderizados detallados del modelo 3D y se detallan todos los planos para su fabricación y ensamblaje.

Aunque en el documento no se explica, el proyecto se ha llevado a cabo con éxito en la realidad y ha sido elaborado en paralelo al documento por los autores, lo que les proporciona una experiencia única y un primer contacto real con el mundo de la ingeniería industrial, lo que les aporta nuevas habilidades y conocimientos.

Palabras clave (máximo 10):

LAMBDA	OXIGENO	ENSAYO	ESCAPE
DISEÑO	FABRICACIÓN	INDUSTRIAL	AUTOMOCIÓN
CALIDAD	CONTROL		

ABSTRACT

Nowadays, the automotive industry, make use of all the knowledge acquired along the years.

One of the most important facts is the global pollution, and by this reason, the automotive industry is constantly improving and doing researches to reduce the pollution generated by the combustion engines.

This project consists on the manufacturing of a lambda sensor or oxygen sensor machine test, asked by an important manufacturer to cover its necessities. This manufacturer requires checking the quality of its leading product, according to inner quality standards, specified by the manufacturer itself.

The test consists on warming up the oxygen sensor up to 400°C and suddenly splash water on it, causing an effect of thermal shock and repeating the process along a defined number of cycles.

This effect simulates driving of a vehicle over a puddle or in rainy conditions. This is because these sensors are located on the exhaust system of all kind of combustion vehicles.

The project includes the design of the control system of the explained process, specifying the chosen components and the reason of these decisions, as well as the mechanical design of the entire system, making use of the CAD (Computer assisted design) tool SolidWorks. The main functions and features of the machine have been explained with the help of rendered pictures of the 3D model and also all the drawings for its manufacturing and assembly are included.

Even if it's not explained in this document, the project has been done successfully in the reality, and has been developed in parallel by the authors. This gives to the authors a unique experience and a first real touch with the industrial engineering world, which provides them new skills and knowledge.

Keywords (10 maximum):

LAMBDA	OXYGEN	TEST	EXHAUST
DESIGN	MANUFACTURING	INDUSTRIAL	AUTOMOTIVE
QUALITY	CONTROL		

APORTACIÓN INDIVIDUAL AL GRUPO

Este proyecto ha tenido una relación cliente – proveedor.

Lo ha solicitado FAE, empresa de fabricación de sensores para la automoción, y lo ha realizado UMPI3D, empresa dedicada a proyectos de ingeniería.

Para la realización de este TFG cada uno de los miembros ha representado una de las partes, ya que Sergio Forns trabaja en FAE a fecha de la elaboración de este documento y Carles Rodríguez ha realizado el TFG dentro de UMPI3D.

Sergio Forns Puiguriguer

Ha representado el papel de cliente, siendo delegado por el departamento de calidad de FAE para la realización y seguimiento del proyecto.

Sus tareas consistieron en:

- Aportar toda la documentación relacionada a los sensores a ensayar.
- Interpretación de la normativa y definición del proceso.
- Asesoramiento acerca de los aspectos importantes del producto y enfocar esos conocimientos al proyecto.

Carles Rodríguez López

Ha representado el papel de proveedor, siendo el Project Leader del proyecto y encargándose de llevar el proyecto a buen puerto.

Sus tareas consistieron en:

- La gestión del proyecto desde UMPI3D.
- Asesoramiento acerca de los métodos de fabricación más factibles y económicos.
- La realización de la mayor parte del trabajo de diseño CAD.

Tareas realizadas por ambos

Puesta en común de información

Reuniones de seguimiento en casa de cliente y del proveedor

Adecuación del diseño en función del presupuesto

Estudio y realización del diseño

Ensamblaje de la máquina

Calibración y puesta a punto en casa del cliente

SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1. CONTEXTO.....	6
2.1.1. RELACIÓN CLIENTE – PROVEEDOR.....	7
2.1.2. NECESIDADES DEL CLIENTE	8
2.2. TEORIA	10
2.2.1. SONDA LAMBDA.....	10
2.2.2. NORMA DE ENSAYO	19
2.2.3. OBJETIVO DEL ENSAYO	21
3. DISEÑO.....	24
3.1. NORMATIVA	24
3.2. SOLUCIÓN TÉCNICA PROPUESTA	27
3.2.1. CALENTAMIENTO DE LAS SONDAS	27
3.2.2. IMPULSIÓN.....	37
3.2.3. INUNDACIÓN.....	40
3.2.4. VACIADO	42
3.2.5. SISTEMA DE CONTROL.....	52
3.2.6. ELEMENTOS DE CONTROL.....	54
3.2.7. DISEÑO DE SUBCONJUNTOS	71
3.2.8. ERGONOMÍA	99
4. MANTENIMIENTO	106
4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	106
4.2. AVERÍAS Y CAUSAS	107
5. ASPECTOS ECONÓMICOS	109
5.1. CÁLCULO DE AMORTIZACIÓN.....	109
6. CONCLUSIONES	111
7. AGRADECIMIENTOS.....	112
8. BIBLIOGRAFÍA	113

SUMARIO DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Tabla 1 - Valor del coeficiente de pérdida de carga localizada (K)	39
Tabla 2 - Propiedades del aire a 60°C	44
Tabla 3 - Cálculo de convección según geometría y flujo	44
Tabla 4 - Especificaciones ventilador	48
Tabla 5 - Especificaciones radiador CL480	49
Tabla 6 - Valor del coeficiente de pérdida de carga localizada (K)	50
Tabla 7 - Tipo termopar	55
Tabla 8 - Sonda termométrica según material	61
Tabla 9 – Activación de electroválvulas por fases	63
Tabla 10 - Tabla mantenimiento preventivo	106
Esquema 1 - Proceso de valoración de riesgos en máquina	25
Esquema 2 - Sistema impulsión	37
Esquema 3 - Sistema de vaciado	47
Esquema 4 - Proceso recirculación	50
Esquema 5 - Sistema de control	52
Esquema 6 - Principio Wheatstone	60
Esquema 7 - Circuito hidráulico ensayo	62
Esquema 8 - Activación salidas de los actuadores en función de las fases	65
Esquema 9 – Diagrama de fases	70
Esquema 10 – Instrucciones para optimización del radiador	90
Figura 1 - Ejemplo de productos FAE	6
Figura 2 - Conjunto mecanizado	7
Figura 3 - Conector en impresión 3D	7
Figura 4 - Pantógrafo para montar juntas de estanqueidad	7
Figura 5 - Esquema de proceso del tratamiento de gases en el sistema de escape	10
Figura 6 - Evolución de las sondas desde su fabricación en serie	10
Figura 7 - Volvo 240, primer coche con sonda lambda	10
Figura 8 - Sección de sonda lambda BOSCH	11
Figura 9 - Componentes del sensor planar	12
Figura 10 - Partes del encapsulado	13
Figura 11 - Representación de la mezcla de aire y combustible en una cámara de combustión para un motor de cuatro tiempos	14
Figura 12 - Valores de sonda lambda en función de la mezcla estequiométrica	15
Figura 13 – Representación de sonda lambda instalada en un sistema de escape	16
Figura 14 - Principio básico de la sonda de ZrO ₂	17
Figura 15 - Ejemplo "water submergence test"	19
Figura 16 - Dibujo sonda lambda	20
Figura 17 - Sección conjunto tubo de escape - sonda lambda	21
Figura 18 - Sonda lambda FAE	22
Figura 19 - Soldadura encapsulado	22
Figura 20 - Visión de sonda lambda en máquina tridimensional de rayos X	23
Figura 21 – Punto de calentamiento de sonda lambda	27
Figura 22 - Transmisión de calor	28

Figura 23 – Triángulo del fuego	29
Figura 24 – Ejemplo de calentamiento por convección	30
Figura 25 – Varios tipos de resistencias eléctricas	30
Figura 26 - Esquema del sistema de calentamiento	31
Figura 27 – Resistencia eléctrica helicoidal	32
Figura 28 – Casquillo adaptador Figura 29 – Resistencias adaptadas a sondas.....	33
Figura 30 – Prototipo de sistema de calentamiento.....	34
Figura 31 - Resultado del ensayo térmico 1 (Resistencia sin aislar).....	34
Figura 32 – Curva de temperatura del ensayo térmico 2 (Resistencia aislada).....	35
Figura 33 – Resultado del Ensayo térmico 2 (Resistencia aislada)	35
Figura 34 - Principio refrigeración en radiadores	45
Figura 35 - Radiador con ventiladores	46
Figura 36 - Medidas ventilador	48
Figura 37 – Radiador Thermaltake Pacific	49
Figura 38 - Resistencia helicoidal	54
Figura 39 - Efecto Seebeck	54
Figura 40 - Termopar tipo K	56
Figura 41 - Sensor capacitivo	57
Figura 42 - Sensor tipo interruptor optoelectrico	57
Figura 43 - Sensor de boya	58
Figura 44 - Sonda temperatura.....	59
Figura 45 – Sonda termométrica con PT100.....	61
Figura 46 - Electroválvula hidráulica.....	64
Figura 47 - Sistema de bloqueo de Schmersal AZM 161-12/12.....	66
Figura 48 - PLC Siemens S7-1200.....	67
Figura 49 – Esquema de ensamblaje de uniones ITEM para estructura	71
Figura 50 – Estructura con ruedas	72
Figura 51 - Depósito superior con sistema sistema de llenado y casquillos calentamiento.....	74
Figura 52 – Parte inferior del depósito superior. Alojamiento para termopares	74
Figura 53 - Sistema de rociado.....	75
Figura 54 – Sujeción de resistencias.....	76
Figura 55 – Depósito superior con protector contra temperatura y pictograma	77
Figura 56 - Sección de conjunto depósito y protección contra quemaduras.....	77
Figura 57 - Ejemplo del efecto de la condensación en una botella	78
Figura 58 - Cierre entre labio de goma y pared interior del depósito superior	78
Figura 59 – Recirculación del agua condensada en del depósito superior	79
Figura 60 – Conexión mediante sumidero entre depósito superior e inferior	80
Figura 61 – Sistema de bisagras regulable en ambos ejes	81
Figura 62 – Vista inferior de compuerta superior	84
Figura 63 - Depósito inferior	85
Figura 64 - Circulación del fluido caliente en depósito.....	86
Figura 65 - Sección, con sonda temperatura y interruptor de nivel	87
Figura 66 - Sección depósito con tapa	88
Figura 67 - Anclajes del depósito inferior	88
Figura 68 - Posición del radiador	89
Figura 69 – Soporte de radiador	90

Figura 70 - Carenado exterior	92
Figura 71 – Vista de bomba de agua desde el exterior	93
Figura 72 – Vista de nivel de agua y componentes internos desde el exterior	93
Figura 73 - Ejemplo de sistema de sujeción de paneles exteriores	94
Figura 74 - Armario eléctrico.....	95
Figura 75 - Conjunto máquina choque térmico sondas lambda	97
Figura 76 – Posición de la bomba de agua	98
Figura 77 - Rueda pivotante con freno	99
Figura 78 - Vista superior de máquina de ensayos	99
Figura 79 - Vista lateral de máquina de ensayos con operario	100
Figura 80 - Operario manipulando sondas en máquina	103
Figura 81 - Útil para sondas lambda.....	103
Figura 82 - Puesta en marcha de máquina	104
Figura 83 - Cuadro de mandos	104
Figura 84 - Llenado de agua en máquina.....	105
Figura 85 - Visor nivel de agua en depósito a través de las protecciones	105

1. INTRODUCCIÓN

La sonda lambda es un sensor que va montado en la gran mayoría de los vehículos de combustión fabricados en Europa a partir del año 1993, coincidiendo con la entrada en vigor de la primera normativa europea que restringía, entre otros, la emisión de gases contaminantes.

Junto con el catalizador (otro componente de los sistemas de escape), la sonda lambda jugó un papel imprescindible en disminuir considerablemente los gases nocivos producidos en la combustión y que afectaban directamente al medio ambiente. Implementando este sensor, las diferentes marcas de vehículos fueron capaces de cumplir la EURO1 y así poder comercializar en Europa.

Actualmente, el continente asiático está empezando a preocuparse por el medio ambiente y está empezando a aplicar medidas anticontaminación.

Concretamente, India es uno de los países con peor calidad del aire debido a la contaminación. También es el país con mayor mercado de motocicletas de todo el planeta. Durante el año 2016 vendieron 17,7 millones de motocicletas, o lo que es lo mismo, una media de 48.000 unidades al día.

Con esta oportunidad en el mercado mundial, el fabricante de sensores para automóviles Francisco Alberó, sigue apostando por la sonda lambda y pretende mejorarlo día a día.

1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es el diseño de una máquina que permita realizar un test de estrés a las sondas lambda. Para ello, se requiere un sistema sencillo en el que el técnico encargado del ensayo pueda dejar el test en marcha y así poder realizar otras tareas.

El test viene definido por la empresa productora de sondas lambda y no se puede variar ninguno de sus requisitos.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. CONTEXTO

La empresa Francisco Albero SAU (de ahora en adelante, FAE), fue fundada en 1952 por un pequeño equipo de emprendedores capitaneados por el señor Francisco Albero.

Con la fabricación del primer manocontacto, FAE inició su investigación en el ámbito de los recambios eléctricos para el sector del automóvil y poco a poco fue ampliando su gama de productos.

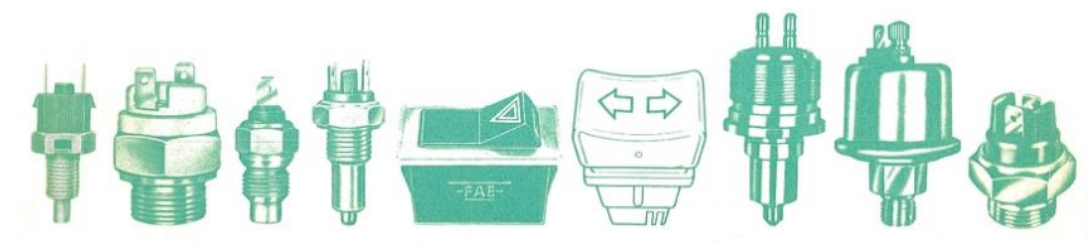


Figura 1 - Ejemplo de productos FAE

En el año 1963, FAE participó por primera vez en una feria de recambios del automóvil en Francia, lo cual ayudó a la marca a iniciar la exportación de sus productos a diferentes puntos de Europa, en un primer momento, y más adelante, de todo el mundo.

En 1971, FAE dejó de pertenecer únicamente al mundo del recambio para entrar en primeros equipos. Marcas como Pegaso, Bultaco o Derbi se interesaron por sus productos, montando en sus líneas de producción componentes de la marca FAE. De este modo, se crearon nuevos objetivos en la empresa, lo que hizo que creciera exponencialmente y con ello la necesidad de expandir sus instalaciones.

En 1995 obtuvo el certificado ISO 9001:1994, haciéndola pionera en el sector del recambio de la automoción en España, asegurando la calidad de su producto y en todos sus procesos.

En el año 1999, FAE inició la investigación en sondas lambda y empezó a desarrollar su primer prototipo con la colaboración de la Universitat de Barcelona. A partir de este momento, FAE decidió dedicar una parte de sus recursos a la mejora de esta sonda.

No es hasta el año 2006 en que FAE inicia la fabricación en serie de su primera sonda y la lanza al mercado, ampliando así su gama de productos. Desde entonces y hasta la actualidad, FAE ha sido uno de los principales productores de sondas lambda del mundo. Tanto es así, que en el año 2017 firma una JOINT VENTURE con una empresa india para vender sondas lambda a uno de los principales productores de motocicletas del mundo.

2.1.1. RELACIÓN CLIENTE – PROVEEDOR

La empresa encargada de llevar a cabo el proyecto es UMPI3D SL, una ingeniería especializada en la producción de piezas mecanizadas y de impresión 3D.



Figura 3 - Conjunto mecanizado



Figura 2 - Conector en impresión 3D

Además, ofrecen soluciones a diferentes aplicaciones industriales, diseñando y fabricando maquinaria según las necesidades de cada proyecto.

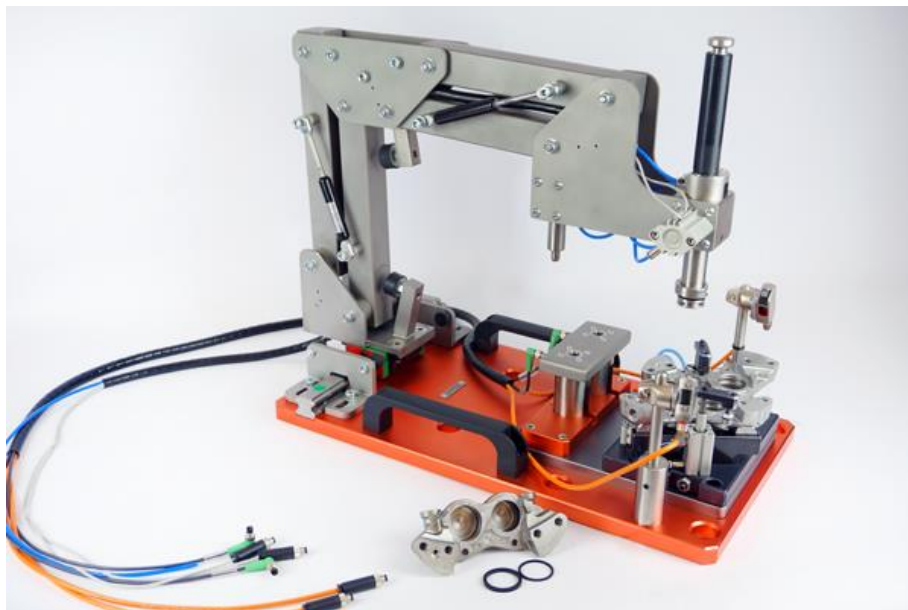


Figura 4 - Pantógrafo para montar juntas de estanqueidad

2.1.2. NECESIDADES DEL CLIENTE

FAE empezó a desarrollar su sonda lambda en 1999, por lo que actualmente lleva más de veinte años de continuo desarrollo y mejora.



Es por eso que FAE cuenta con un equipo de ingenieros especializado en mejorar los procesos productivos para que sean más eficientes y así sacar mayor rentabilidad a los diferentes productos.

Una de los principales valores de FAE, ya desde sus inicios, es la investigación y el desarrollo. Por este motivo, FAE invierte aproximadamente el 20% de su presupuesto anual en I+D.

Otro valor muy importante es la calidad, en el que se centran la mayoría de los procesos, en cada uno de ellos se pretende llegar a la excelencia. En este sentido, FAE dispone desde 1995 del certificado ISO 9001 que hace referencia a la calidad.

Debido a la gran competencia del mercado por marcas de renombre a nivel mundial, FAE pretende competir con sus recursos y tener el mejor de los productos. Para ello, debe ofrecer los mismos o mejores procesos de calidad que la competencia.

Algunos de los clientes de primer nivel, como pueden ser primeras marcas del sector de la automoción, requieren que el producto haya superado algunos ensayos que la competencia ya está realizando.

Es por este motivo que FAE empezó a realizar nuevos ensayos con sus sondas lambda y, entre sus innovaciones en ensayos de calidad, se encuentra el “wáter submergece test” que se explicará en el punto 2.2.2. del presente trabajo.

Después de realizar el test, el departamento de calidad observó que algunas de las sondas testadas sufrían déficits que podían perjudicar en su correcto funcionamiento. De modo que se tomó la decisión de incorporar este ensayo dentro de sus procesos y estandarizarlo para no tener que hacerlo manualmente.

2.1.2.1. REQUISITOS DE LA MÁQUINA

Finalmente, se decide automatizar el proceso y se marcan los siguientes requisitos para el diseño y la fabricación de un banco de ensayos para laboratorio:

Descripción del ensayo

1. Las sondas se instalarán en el banco de ensayo de la misma forma que se instalarían en un escape, es decir, roscadas, pero sin conectarlas eléctricamente.
2. Se deben calentar las sondas hasta una temperatura de 400°C en la zona del hexagonal.
3. Una vez alcanzada la temperatura, se deben rociar con agua e inundarlas hasta un nivel por encima del cuerpo de la sonda.
4. Las sondas deben permanecer inundadas durante 1 minuto.
5. Se debe evacuar el agua.
6. El ensayo se debe repetir cíclicamente del punto 2 al punto 5.

Requisitos del sistema

- El banco de ensayo debe ser móvil.
- La temperatura debe alcanzarse en la tuerca de fijación de la sonda.
- Debe poder albergar tres sondas de M18x1.50 y tres de M12x1.25.
- Los ensayos se realizarán únicamente con 3 sondas lambda, es decir tres de M18x1.50 o tres de M12x1.25.
- El depósito que albergue las sondas debe tener una capacidad de 2 litros de agua por sonda durante el ensayo., es decir, la capacidad del depósito ha de ser de 6 litros de agua y debe cubrir por completo el cuerpo de la sonda.
- El tiempo de llenado, para la inundación de las sondas no debe exceder los 90 segundos.
- El tanque que albergue las sondas debe disponer de ventana en la parte superior.
- La alimentación eléctrica de la máquina ha de ser a 230V.
- Se han de poder modificar los siguientes datos antes de iniciar el ensayo:
 - Número de ciclos;
 - Tiempo de espera entre ciclos (por defecto será 0segundos), o temperatura del agua en el depósito previa al choque térmico (por defecto 20°C);
 - Tiempo que la válvula de vaciado del depósito superior permanece abierta
 - Tiempo de espera en la inmersión de las sondas (por defecto 60segundos);
 - Temperatura previa de las resistencias antes del choque térmico (por defecto 400°C).
- Se debe poder visualizar a tiempo real:
 - Temperatura del agua antes de rociar las sondas lambda;
 - Temperatura en las resistencias de calentamiento (para la detección de averías).

2.2. TEORÍA

Para poder entender las necesidades del proyecto, a continuación, se introduce brevemente el producto con el que se realizará el ensayo.

2.2.1. SONDA LAMBDA

2.2.1.1. INTRODUCCIÓN

La sonda lambda es un sensor que va instalado en el sistema de escape de los vehículos de combustión. Ésta se encarga de leer la cantidad de oxígeno que circula por el tubo de escape antes de ser emitido a la atmosfera y transmite la información en forma de señal eléctrica a la centralita (ECU "Engine Control Unit") para que ésta modifique el tiempo y la duración de inyección para así reducir los gases contaminantes.

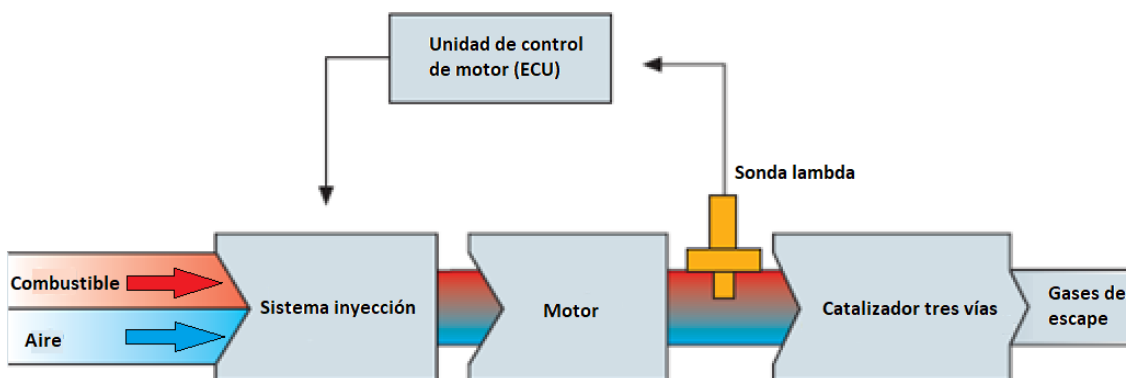


Figura 5 - Esquema de proceso del tratamiento de gases en el sistema de escape

En 1976 empezó la fabricación en serie de este tipo de sensor, cuando Volvo la instaló por primera vez en su modelo 240/260. Fue entonces, cuando se demostró que el 90% de los gases contaminantes desaparecían gracias a la sonda lambda y un convertidor catalítico. Este hecho le hizo ganar a Volvo, en 1977, el premio nacional de la Industria del Medio ambiente de Estados Unidos y, en 1978, el modelo 240 fue nombrado el coche más limpio de los EEUU por la junta de California.



Figura 6 - Evolución de las sondas desde su fabricación en serie



Figura 7 - Volvo 240, primer coche con sonda lambda

En 1993, con la aplicación de la primera normativa anti polución de la Unión Europea (EURO1), se obligó a reducir la emisión de gases contaminantes a todos los nuevos vehículos y, para conseguir dicha reducción, la mayoría de los fabricantes optaron por incorporar sistemas de regulación automática (regulación lambda) y sistemas de ventilación del depósito de combustible (cánister) a todos los nuevos vehículos que se fabricaran a partir de la fecha.

2.2.1.2. PARTES DE LA SONDA LAMBDA

A continuación, se muestra una sonda lambda seccionada con todos sus componentes descritos.

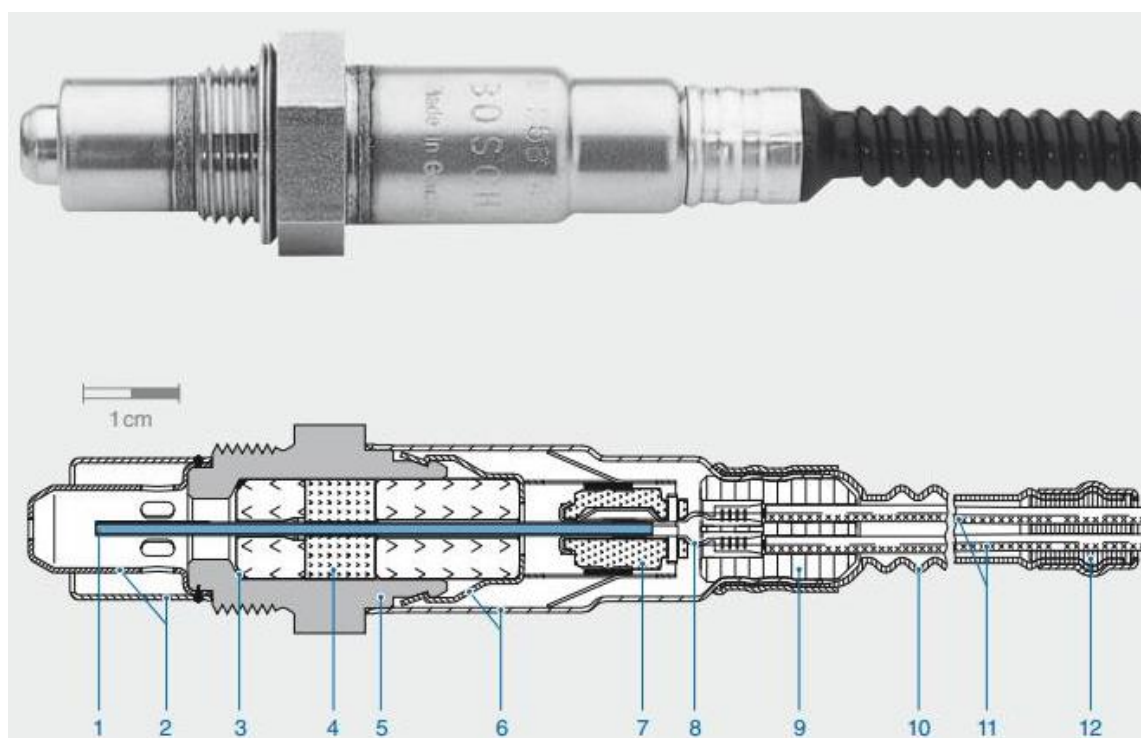


Figura 8 - Sección de sonda lambda BOSCH

1	Sensor planar	7	Contactos
2	Doble protección del tubo	8	Terminales
3	Junta estanqueidad	9	Teflón prensado
4	Elemento de sellado	10	Protector
5	Carcasa sonda (Housing)	11	Cables conexión
6	Aislante protector	12	Sellante

SENSOR PLANAR

El sensor planar está situado en el centro de la sonda y es un conjunto de láminas que mediante un proceso de sinterización quedan unificadas en un solo componente.

A través de sus contactos, este elemento se encarga de leer y transmitir los valores de los gases de escape a la centralita.

En sondas lambda de última generación, este sensor incorpora una resistencia para que la sonda llegue rápidamente a su temperatura de trabajo.

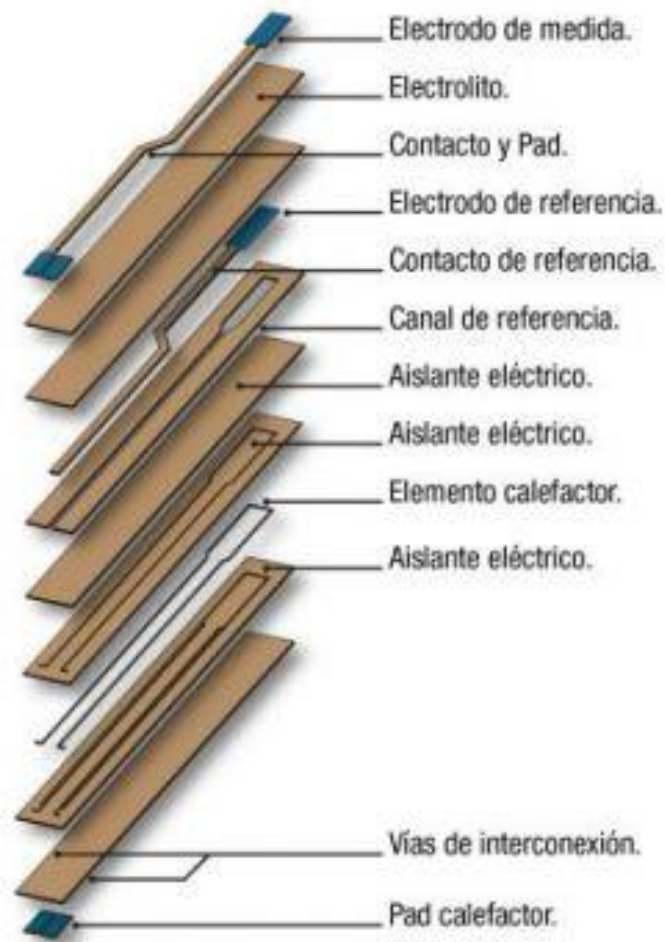


Figura 9 - Componentes del sensor planar

ENCAPSULADO

El encapsulado es el encargado de dar forma a la sonda lambda, para que pueda ir roscada en el tubo de escape, además de proteger al sensor planar para que éste no se rompa y aislar la parte interna y externa del tubo de escape.

Se puede diferenciar en tres grupos:

1. Protector gases escape

Protege al sensor planar y deja pasar parte de los gases de escape, por unos agujeros que lleva incorporados. Se encuentra situado en el interior del tubo de escape.

2. Carcasa sonda (Housing)

Es el encargado de dar rigidez a la sonda, lleva incorporada una rosca y una tuerca para ser fijado en el tubo de escape. Va fijado en el exterior del tubo de escape.

3. Aislante protector

Esta parte queda totalmente en el exterior del escape y es el encargado de proteger a la sonda de los agentes exteriores (agua, piedras).

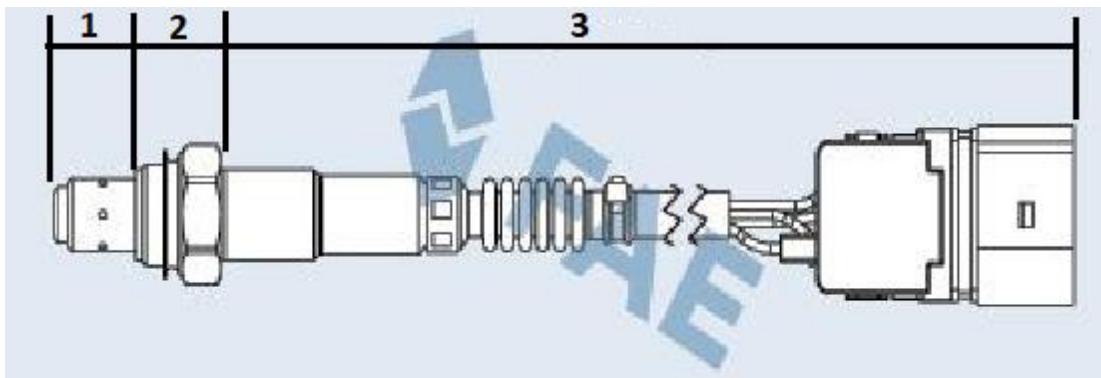


Figura 10 - Partes del encapsulado

2.2.1.3. FUNCIONAMIENTO

2.2.1.3.1. MEZCLA ESTEQUIOMÉTRICA

La regulación lambda [λ], consiste en obtener que “ $\lambda=1$ ”, este valor nos indica que nos encontramos en mezcla estequiométrica, es decir, la relación idónea entre combustible y comburente:

$$\lambda = \frac{\text{Real mixture}}{\text{Stoichiometric mixture}} = \frac{\text{Air}/_{\text{Fuel}} \text{Real}}{14,7}$$

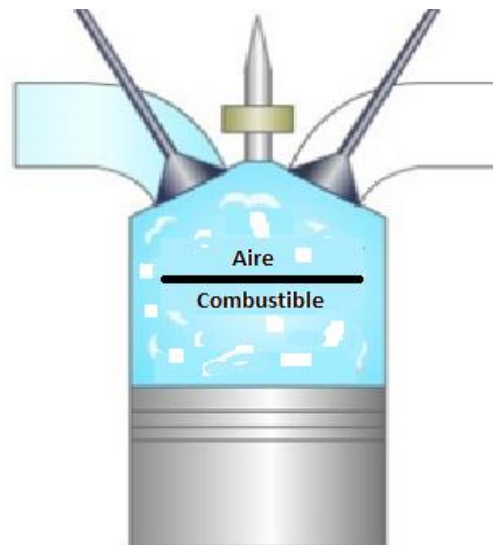


Figura 11 - Representación de la mezcla de aire y combustible en una cámara de combustión para un motor de cuatro tiempos

A modo de ejemplo se especifican diferentes relaciones estequiométricas en función del tipo de combustible empleado:

- Motores gasolina: por cada 14,7 gramos de aire tenemos 1 gramo de combustible.
- Gasóleo: 14,5g de aire y 1g de combustible.
- Etanol: 6,7 de aire a 1g de combustible.

Es necesario que el motor de combustión trabaje con mezcla estequiométrica para poder reducir los gases contaminantes. Al encontrarse en este estado, los gases emitidos podrán ser tratados por el catalizador, el cual está compuesto por metales preciosos (platino, paladio y rodio) que realizan unas reacciones químicas para reducir y eliminar las partículas y gases nocivos:

- Los NOx (óxidos de nitrógeno) se transforman al ponerse en contacto con el rodio y se obtiene CO₂ y N₂.
- Los HC (hidrocarburos) se transforman por oxidación al contactar con el paladio para obtener CO₂ y vapor de agua.
- Finalmente, el CO (óxido de carbono) sufre un proceso de oxidación al entrar en contacto con el platino y se obtiene CO₂.

Para ello, la sonda lambda mide la concentración de oxígeno que se encuentran en los gases de escape, y si esta detecta el mínimo desvío de exceso o defecto de oxígeno residual en toda la combustión, envía señales a la ECU para corregirlas.

Como se ha mencionado anteriormente el valor lambda debe ser igual o lo más cercano a 1 para que la mezcla sea idónea (estequiométrica).

- Si el valor lambda es $\lambda < 1$ → falta aire (mezcla rica)
- Si el valor lambda es $\lambda > 1$ → exceso de aire (mezcla pobre)

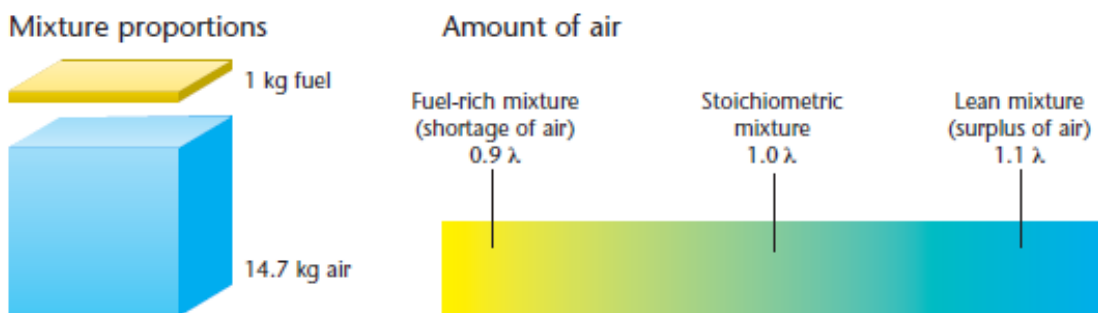


Figura 12 - Valores de sonda lambda en función de la mezcla estequiométrica

2.2.1.3.2. PRINCIPIOS DE NERNST

La sonda lambda binaria de circonia (sonda de dos puntos) contiene dióxido de circonio [ZrO_2], este se vuelve conductor para los iones de oxígeno cuando alcanza una temperatura aproximada o superior a 300°C . A temperaturas inferiores a 300°C el tiempo de lectura es de segundos, en cambio a 600°C la sonda tiene un tiempo de reacción inferior a 50ms.

Por las especiales propiedades del ZrO_2 , cuando existen diferencias de partes de oxígeno en ambos lados de éste, se produce una tensión eléctrica entre los contactos [figura 13]. La tensión de salida de la sonda varía según las siguientes condiciones:

- Mezcla rica ($\lambda < 1$) \rightarrow 800 – 1000mV
- Mezcla pobre ($\lambda > 1$) \rightarrow $\pm 100\text{mV}$

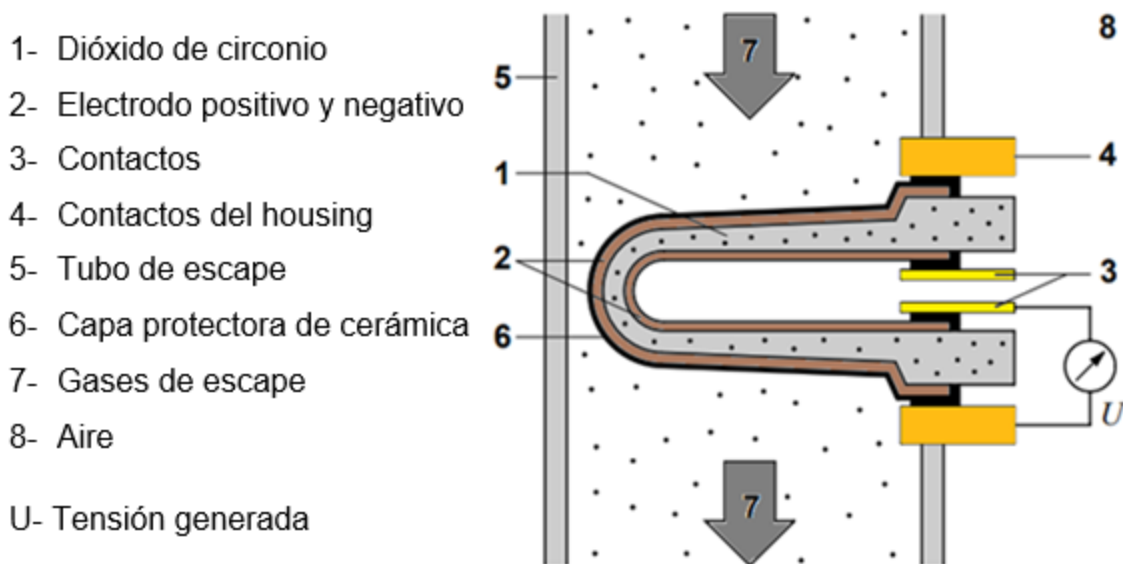


Figura 13 – Representación de sonda lambda instalada en un sistema de escape

Para que la sonda lambda pueda transformar una lectura de oxígeno en tensión, se aplica la ecuación de Nernst.

Esta ecuación relaciona logarítmicamente la presión parcial en el gas de escape con la presión ambiente medida en el electrodo de referencia.

Ecuación de Nernst:	
$U_s = \frac{R \cdot T}{4 \cdot F} \cdot \ln \left(\frac{P_{O_2''}}{P_{O_2'}} \right)$	
Us	Tensión del sensor
T	Temperatura
P _{O2}	Presión parcial del oxígeno
R	Constante universal de los gases
F	Constante de Faraday

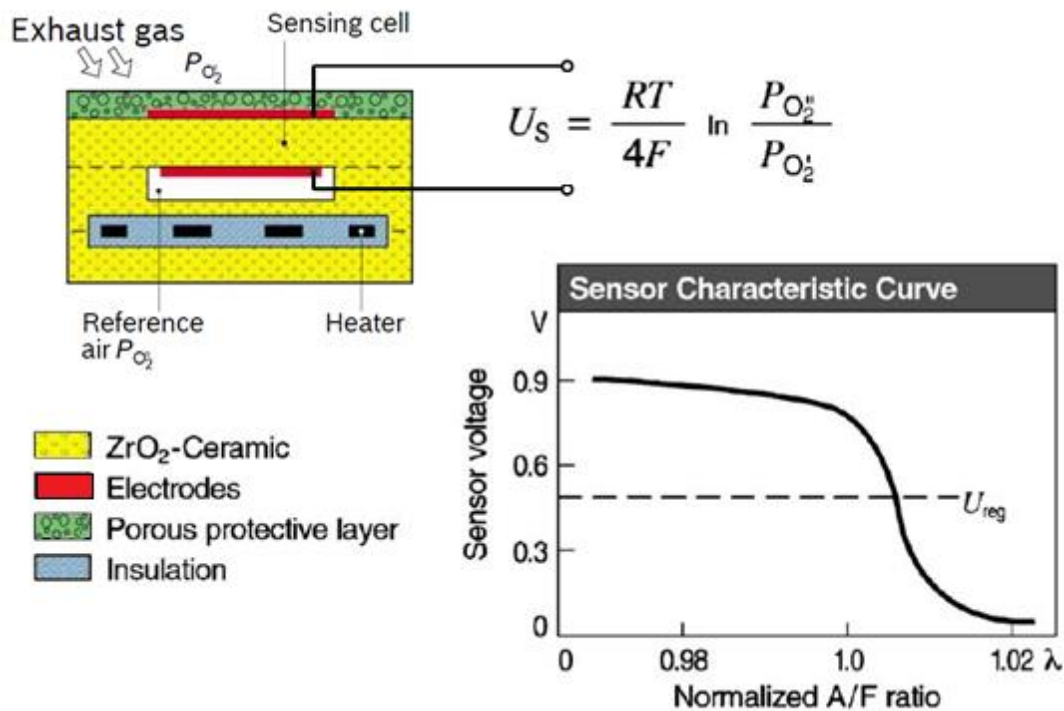


Figura 14 - Principio básico de la sonda de ZrO₂

DESVIACIONES DE OXÍGENO

En los siguientes gráficos se observa el efecto de las desviaciones de oxígeno en la mezcla.

Una deficiencia de aire en la mezcla (a) produce directamente un aumento de consumo de combustible lo que conlleva mayor potencia y además un aumento de gases contaminantes respecto valores de $\lambda=1$.

Por otro lado, el exceso de aire en la mezcla (b) provoca: pérdida de potencia, aumento del consumo de combustible y aumento de los gases contaminantes, en concreto los HC.

Effects of excess-air factor λ on power P and specific fuel consumption b_e .

- a Rich mixture (air deficiency),
- b Lean mixture (excess air).

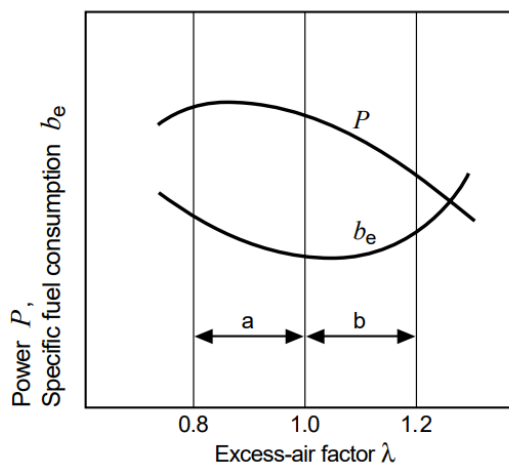


Gráfico 1 - Consumo combustible frente al valor lambda

Effect of excess-air factor λ on untreated exhaust emissions

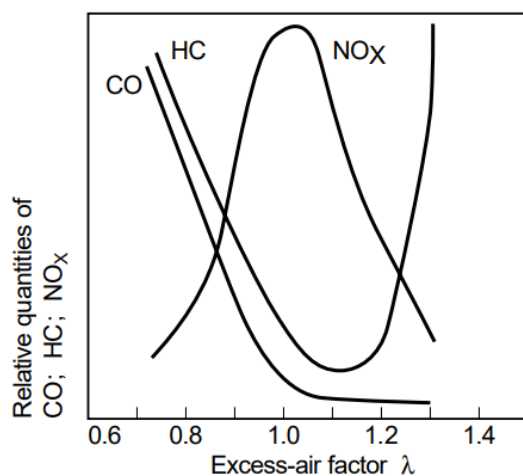


Gráfico 2 - Gases de escape frente valor lambda

2.2.2. NORMA DE ENSAYO

2.2.2.1. INTRODUCCIÓN

El “water submergence test” es un ensayo de estrés en el que se somete a diferentes sondas lambda a choques térmicos durante cincuenta ciclos.

Con este ensayo se pretende simular el paso de un vehículo por una zona de agua, proceso durante el cual la sonda lambda se moja constantemente.

Cuando un vehículo de combustión se encuentra a temperatura óptima de funcionamiento, la sonda lambda alcanza una temperatura igual o superior a 400°C, dependiendo de las revoluciones del motor y del tipo de sonda.

Con este ensayo se pretende someter a las sondas lambda a un proceso de estrés, para posteriormente analizarlas y así poder mejorar los procesos y la calidad del producto final.

Este proceso se divide en cuatro fases:

- 1- **Calentamiento.**
- 2- **Choque térmico (watersplash).**
- 3- **Inundación (submergence).**
- 4- **Vaciado.**

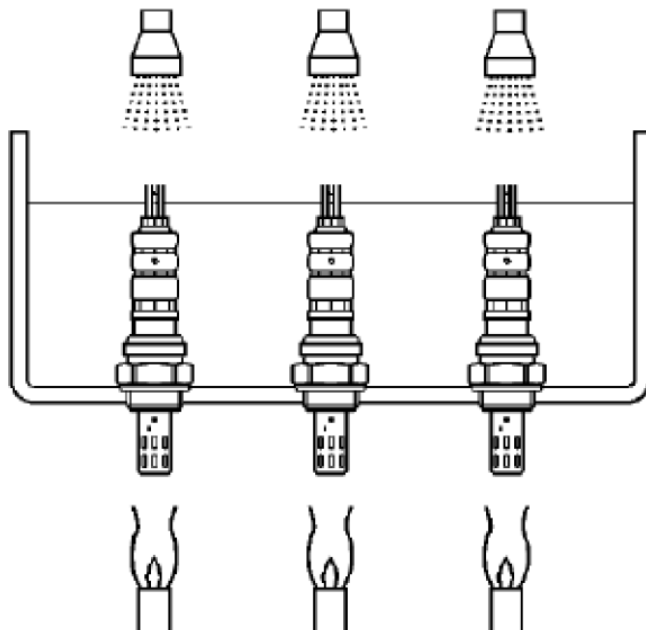


Figura 15 - Ejemplo "water submergence test"

2.2.2.2.PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se calienta la parte que va situada en el interior del escape hasta obtener una temperatura de 400°C en la tuerca, simulando así la temperatura media en la que ésta se encuentra cuando el motor de combustión está en funcionamiento.

Una vez se obtiene la temperatura de consigna (400°C en la tuerca), se aplica un chorro de agua a la sonda por la parte exterior del escape (watersplash) hasta dejar las sondas totalmente sumergidas (submergence). Éstas deben permanecer inundadas durante un minuto, y finalmente se evacua el agua para repetir el proceso cincuenta ciclos.

2.2.2.3.ANÁLISIS

Con esta prueba, FAE pretende mejorar sus sondas lambda. Ya que, un factor muy importante en el diseño y proceso de fabricación de las sondas es ser capaces de mantener la estanqueidad interna entre la parte que va al interior de los gases de escape con la que va al exterior de los mismos.

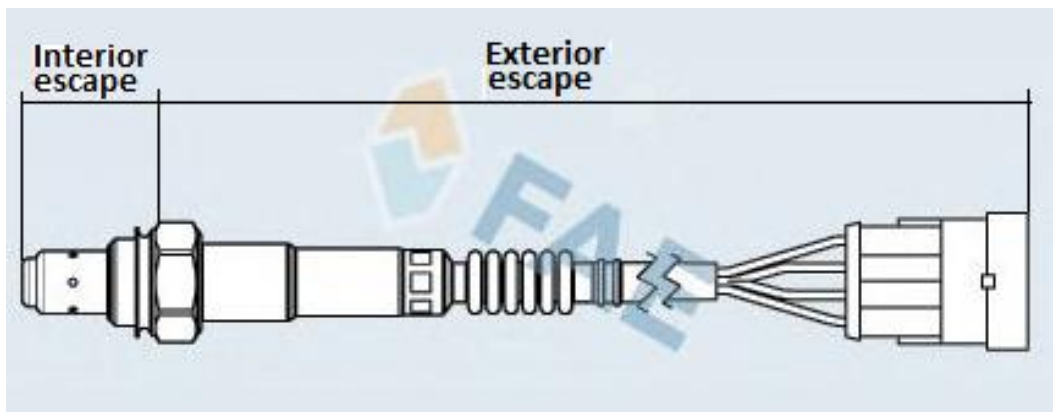


Figura 16 - Dibujo sonda lambda

Como se explica en el punto 2.2.1, la sonda lambda compara la cantidad de oxígeno de los gases de escape con el aire de referencia, de modo que estos dos no pueden comunicarse entre ellos bajo ningún concepto, para no interferir en las mediciones del elemento sensor.

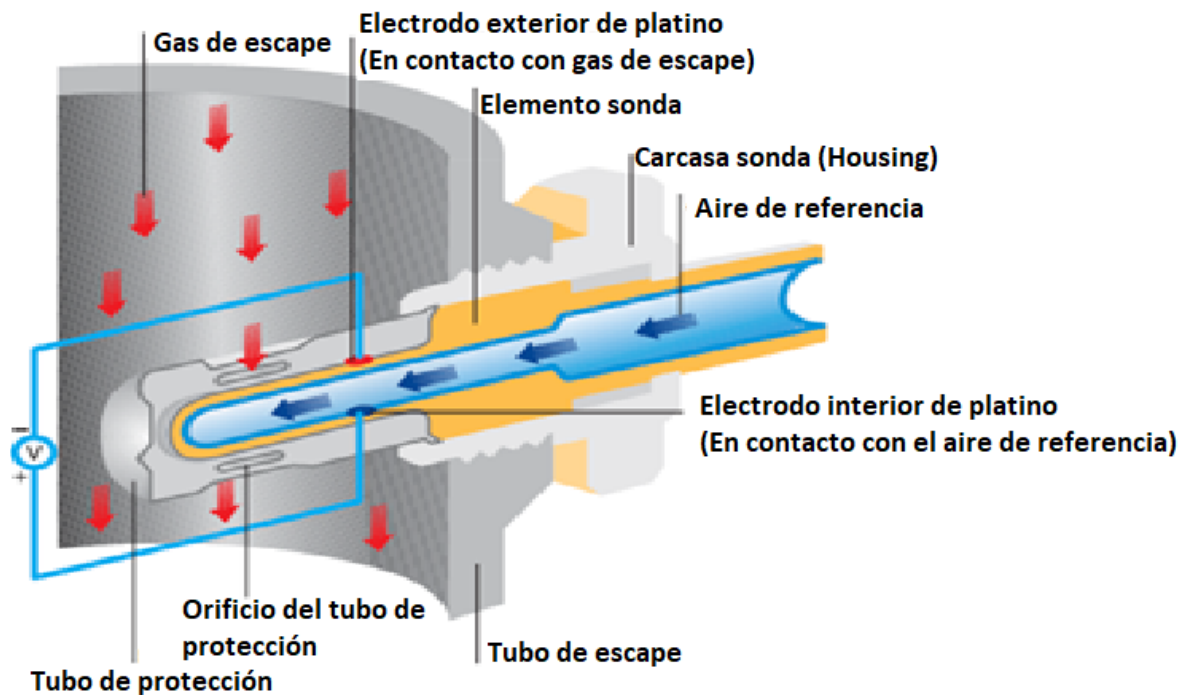


Figura 17 - Sección conjunto tubo de escape - sonda lambda

Además, también se debe prestar especial atención a las posibles penetraciones de agua o vapor de agua en el sensor planar, ya que podría causar cortocircuitos y variar así la señal de salida (V) o romper el sensor interior.

2.2.3. OBJETIVO DEL ENSAYO

Con este ensayo se pretende someter la sonda lambda a un ensayo térmico y de estrés simulando el funcionamiento extremo de la sonda en un vehículo.

Este ensayo sirve a la marca para verificar que los materiales y procesos utilizados tienen la calidad requerida. De este modo, FAE se asegura de que su producto cumple con los estándares de calidad que la propia empresa marca. Además de poder demostrar a sus compradores la eficacia de sus procesos y ensayos.

2.2.3.1. RESULTADOS DEL ENSAYO

Como se ha explicado en apartados anteriores, uno de los principales retos a la hora de fabricar una sonda lambda es mantener la estanqueidad entre el aire exterior y el interior.

Es por eso, que después del ensayo se analiza detenidamente cada sonda lambda. En concreto se verifica que no entre agua por la zona de los cables, verificando así el correcto aislamiento en esa zona después de dilatar y contraer los materiales con el choque térmico.



Figura 18 - Sonda lambda FAE

La parte que más sufre con este ensayo es la soldadura entre housing y el aislante protector exterior. Esta unión es de gran importancia para evitar la entrada de oxígeno y/o agua.



Figura 19 - Soldadura encapsulado

Para analizar el comportamiento de esta unión, observamos la sonda a través de una máquina de rayos X después del ensayo.

Se observa como algunos de los poros producidos en el proceso de soldadura se han hecho más grandes, produciendo aberturas entre housing y el aislante exterior.

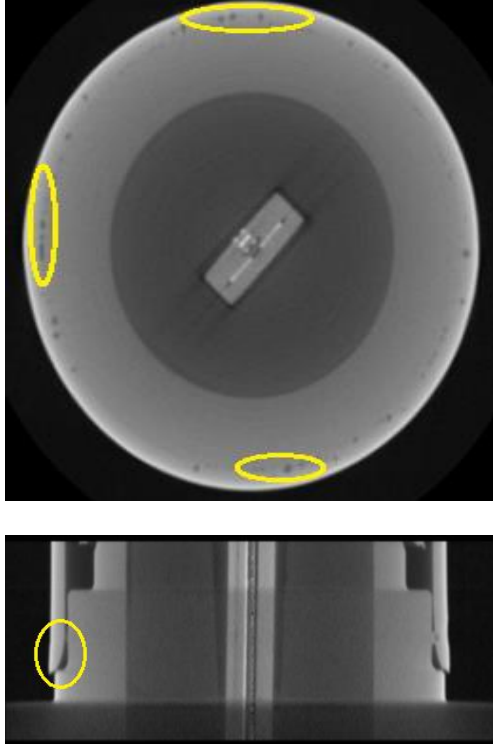


Figura 20 - Visión de sonda lambda en máquina tridimensional de rayos X

ACCIONES DE MEJORA DEL PRODUCTO

Una vez hecho el ensayo y vistos los resultados, con el fin de resolver este problema, la empresa estudia el proceso de encapsulado y de soldadura.

Finalmente, se decide modificar parámetros en el prensado entre housing y aislante protector, además de modificar cotas de ajuste, para que con solo el prensado se eviten entradas de aire o agua.

Por otro lado, en el proceso de soldadura, se modifica la soldadura por puntos por un proceso de soldadura lineal.

3. DISEÑO

3.1. NORMATIVA

En este proyecto no se certifica el marcado CE, pero si se asegura que cumple con la normativa vigente sobre seguridad y que se cumple con todos los requisitos legalmente previstos por si el cliente necesitara, en un futuro, dicho marcado.

En este caso, la norma más importante que resulta de aplicación es el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Según esta normativa, para saber qué normas son de aplicación, primero se debe definir el tipo de máquina. En este caso se aplicarán los requisitos que hagan referencia a una “cuasi máquina”, ya que se trata de un conjunto que no puede realizar una aplicación por sí solo.

La definición de cuasi máquina la encontramos en el artículo 2 del Real Decreto, que lo define como el *“Conjunto que constituye casi una máquina, pero que no puede realizar por sí solo una aplicación determinada.”*

Un sistema de accionamiento es una cuasi máquina.

La cuasi máquina está destinada únicamente a ser incorporada a, o ensamblada con, otras máquinas, u otras cuasi máquinas o equipos, para formar una máquina a la que se aplique este real decreto.”

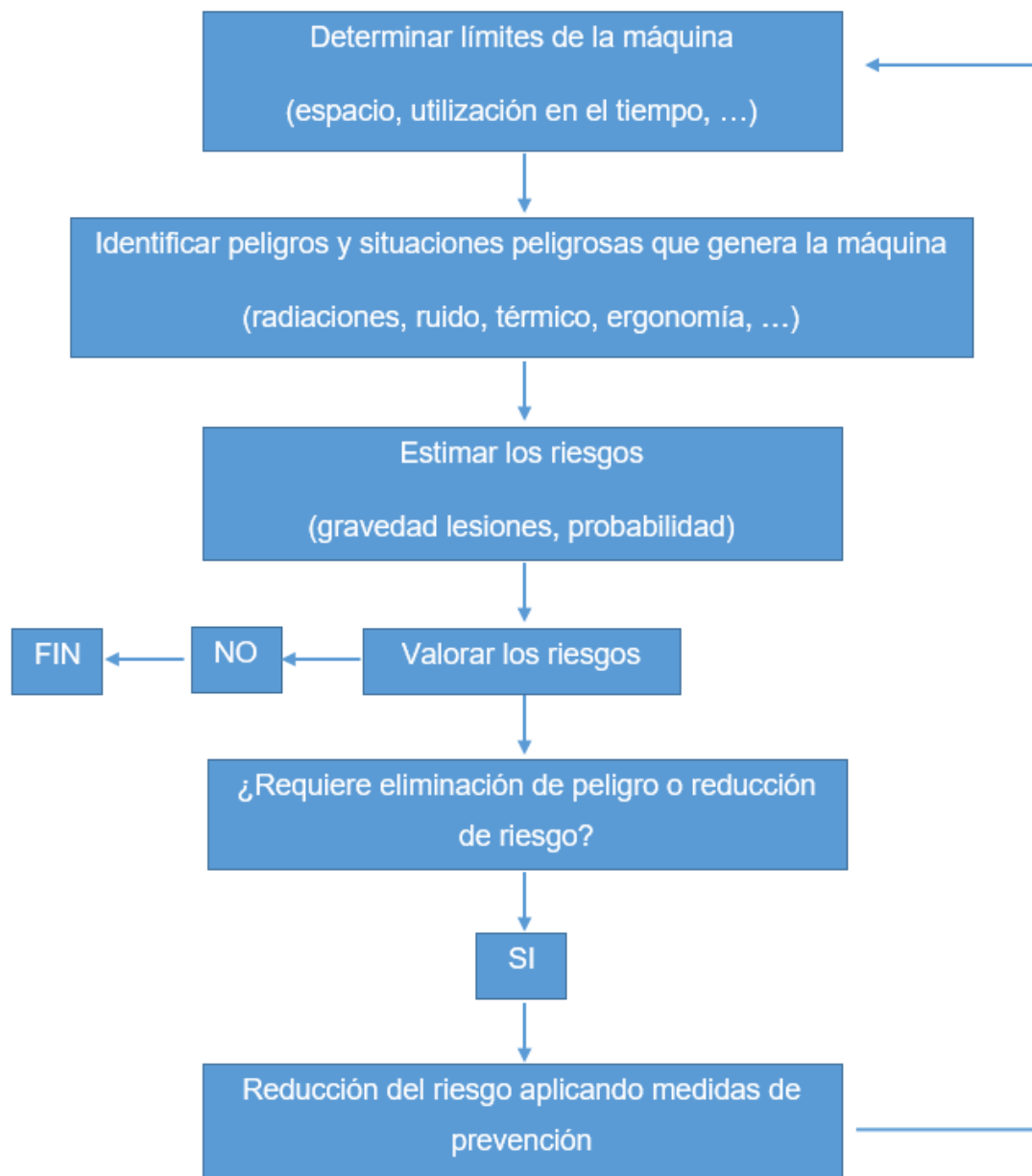
El siguiente paso, es evaluar la conformidad, en este caso se hace referencia al Artículo 13, que hace mención a las cuasi máquinas:

“1. El fabricante de una cuasi máquina o su representante autorizado deberá velar, antes de la comercialización, porque:

- a) Se elabore la documentación técnica pertinente descrita en el anexo VII, parte B,*
- b) se elaboren las instrucciones de montaje indicadas en el anexo VI, y*
- c) se haya redactado la declaración de incorporación descrita en el anexo II, parte 1, sección B.”*

Referente a la evaluación de riesgos, se debe asegurar que cumple con los requisitos esenciales descritos en el Anexo I, que se rigen por la norma “UNE-EN ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo”.

Para ello se aplica el siguiente proceso iterativo, el cual sirve para evaluar los riesgos y reducirlos:



Esquema 1 - Proceso de valoración de riesgos en máquina

Finalmente, se describe a modo conceptual la documentación necesaria en este proyecto en el caso de querer comercializar la máquina:

1. Manual de usuario y de instrucciones:

- Descripción del equipo.
- Explicación clara de sus funciones y para las que ha sido diseñada.
- Especificar necesidad de equipos de protección individual, pelo recogido o la prohibición de llevar joyas durante su manipulación.
- Considerar mal uso razonablemente previsible.
- Explicación del desmontaje completo de la máquina y el reciclaje de sus componentes.
- Adjuntar ficha técnica y de seguridad de los componentes estándar añadidos.

2. Análisis de riesgos

- Sistema de parada de emergencia visible.
- Pictogramas de trabajo con alta temperatura.



- Protección que aisle las resistencias.
- Aislamiento de los elementos internos móviles.
- Al menos dos ruedas con enclavamiento mecánico.
- Sistema de protección y bloqueo al abrir la puerta del depósito superior que impide la puesta en marcha si no está cerrado y bloqueado.

3. Manual de mantenimiento y listado de recambios.

- Especificar acciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad.
- Adjuntar listado de recambios con referencias.
- Diagnóstico de averías.

4. Información

- Nombre y dirección del fabricante.
- Designación de la máquina.
- Número de serie.
- Año de fabricación.

3.2. SOLUCIÓN TÉCNICA PROPUESTA

Para poder entender y simplificar la explicación, se divide el proyecto en los diferentes procesos del ensayo. En los siguientes puntos se explica y se justifica la solución propuesta para cada caso.

- 1- Calentamiento.
- 2- Choque térmico (watersplash).
- 3- Inundación (submergence).
- 4- Vaciado

3.2.1. CALENTAMIENTO DE LAS SONDAS

El calentamiento consiste en aumentar la temperatura de un cuerpo o sustancia mediante la aportación de energía. Dicha aportación puede darse por diferentes métodos.

Para la correcta realización del ensayo, se deberá calentar las sondas lambda hasta 400°C. La zona en la que se desea dicha temperatura es en cuerpo hexagonal de las sondas.

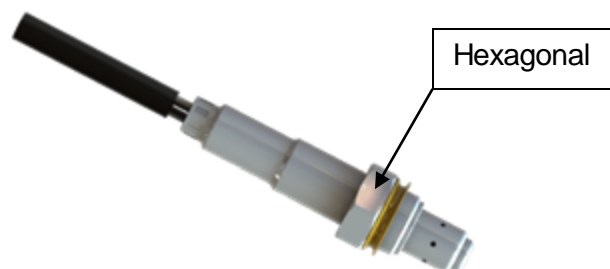


Figura 21 – Punto de calentamiento de sonda lambda

Nota: dado que en las fases posteriores al calentamiento hay que inundar las sondas con agua, el sistema de calentamiento que se elija no debe verse influenciado por su presencia, o deberá quedar aislado de ésta.

3.2.1.1. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Para realizar dichos cambios de temperatura, existen tres métodos de transmisión de calor:

- Conducción
- Convección
- Radiación

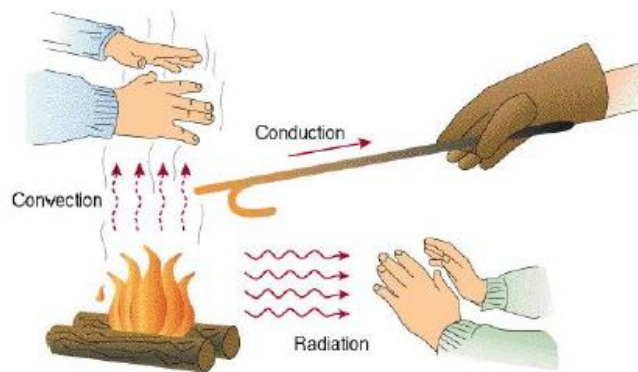


Figura 22 - Transmisión de calor

Conducción

La transmisión de calor por conducción, consiste en la transferencia de temperatura de un cuerpo con otro, por contacto directo entre partículas, incluido un mismo cuerpo que se encuentra a diferentes temperaturas.

La ley que rige la transmisión de calor por conducción es la ley de Fourier.

Convección

La convección consiste en la transmisión de calor de un punto a otro por el movimiento de un fluido (líquido o gas).

La ley que rige la transmisión de calor por convección es la ley de enfriamiento de Newton. Puede ser:

Forzada. El movimiento del fluido es provocado por medios externos.

Natural o libre. El movimiento del fluido es totalmente natural

Radiación

La transmisión de calor por radiación consiste en ceder parte de la energía interna de un cuerpo a través de ondas electromagnéticas. Éstas se propagan a la velocidad de la luz y se manifiestan incluso en el vacío.

La ley que rige la transmisión de calor por radiación es la Ley de Stefan-Boltzmann.

3.2.1.2.ELECCIÓN DEL MÉTODO DE CALENTAMIENTO

El método de calentamiento de una sonda en funcionamiento normal es mediante sus resistencias internas y/o mediante los gases de escape del motor debidos a la combustión.

En este apartado se estudian las diferentes posibilidades para simular dichas condiciones y se muestra el método elegido.

Calentamiento por combustión (quemador o burner)

Este método consiste en calentar las sondas mediante una llama directa, la cual para que exista, deberán existir los elementos propios del triángulo del fuego y cumplirse ciertos factores.

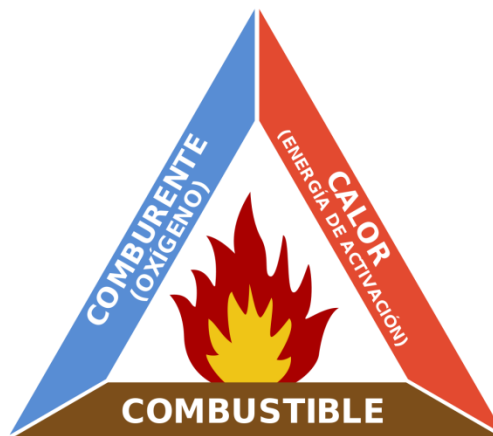


Figura 23 – Triángulo del fuego

La creación de una llama se debe a la existencia de un combustible, un comburente y a una energía de activación (fuente de calor, chispa o corriente eléctrica, etc.)

Como combustible se podría utilizar el gas butano o el gas natural, siendo éstas energías limpias.

Por lo tanto, este método de calentamiento condiciona el diseño de la máquina por los siguientes motivos:

- Necesidad de quemar un combustible de forma constante.
- Necesidad de un sistema de iniciación de la llama.
- Necesidad de un sistema de extracción de gases (en función del combustible utilizado).
- Necesidad de bombona, depósito o instalación de gas cercana en función del combustible.
- Necesidades de un sistema a prueba de incendios.
- Necesidad de un elemento de extinción de fuego siempre a mano.

Dadas todas las necesidades listadas, el sistema se podría complicar y perder esa sencillez que se busca de este banco.

Calentamiento por convección forzada

Este método consiste en calentar las sondas lambda mediante un sistema de resistencias eléctricas y un elemento de impulsión del aire, como podría ser un ventilador.

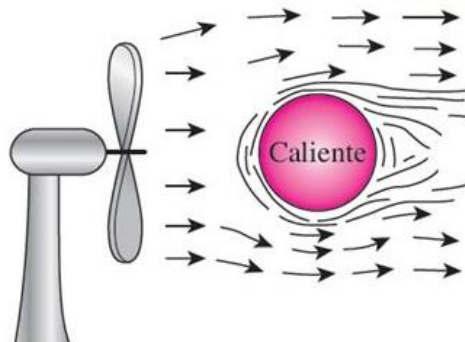


Figura 24 – Ejemplo de calentamiento por convección

Las resistencias eléctricas generarían energía calorífica que calentaría el aire que tuviesen alrededor. Continuamente, un ventilador o turbina impulsaría dicho aire en la dirección de las sondas y las calentaría por efecto de la convección.

Este sistema puede funcionar para calentar, pero tiene el inconveniente de no tener mucha precisión para calentar un área localizada, ya que siempre habrá un flujo de aire caliente que pasará de largo (alrededor) o rebotará de forma incontrolable, ya sea dentro de una cámara o al pasar por dentro de un conducto. Dicho aire debe tener una canalización y evacuación.

Cabe decir que el hecho de calentar una resistencia para calentar aire y que se aire caliente las sondas, es una cadena en la cual existen pérdidas de energía más altas que si se calentase directamente.

Calentamiento por conducción

Este método consiste en calentar las sondas mediante resistencias eléctricas por conducción por contacto directo.



Figura 25 – Varios tipos de resistencias eléctricas

Método elegido

El método elegido ha sido el de conducción mediante resistencias eléctricas, ya que simplifica el sistema de calentamiento respecto al calentamiento por llama directa y es mucho más eficiente que el calentamiento por convección, ya que es mucho más localizado y controlado.

3.2.1.3. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA

Una vez decidido el método de calentamiento, se ha decidido hacer un sistema donde dicho sistema se encuentre separado del choque térmico y, por lo tanto, del agua.

Para conseguir esto se ha diseñado un depósito en el cual tendrá lugar el choque térmico y la inmersión de las sondas, mientras que será por la parte inferior por donde recibirá el calor.

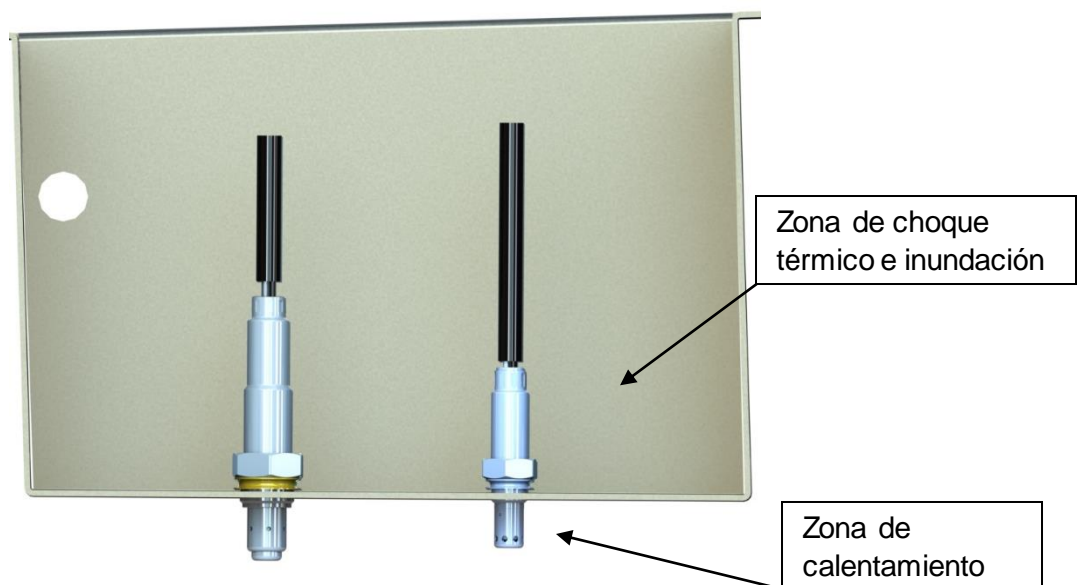


Figura 26 - Esquema del sistema de calentamiento

Como las sondas se verán inundadas en su parte superior, se deberá transmitir el calor desde la parte inferior, ya que, a pesar de existir resistencias eléctricas para el calentamiento de agua, no están pensadas para sufrir choques térmicos bruscos, si no para elevar la temperatura del agua desde una temperatura ambiente. Por esta razón las resistencias deberán ir aisladas del agua.

Las sondas se instalarán desde la parte superior e irán roscadas en la parte inferior del depósito.

En la parte inferior y fuera del depósito irán instaladas las resistencias eléctricas que servirán para calentar las sondas lambda.

Elección del tipo de resistencia eléctrica

Para la elección del tipo de resistencia se han tenido en cuenta las geometrías disponibles en el mercado para adaptarse lo máximo posible a la forma cilíndrica de la sonda lambda.

Por este motivo se ha seleccionado una resistencia de tipo enrollada de forma helicoidal, lo que genera una forma cilíndrica.



Figura 27 – Resistencia eléctrica helicoidal

Para mejorar la efectividad de las sondas y minimizar las pérdidas de energía por convección externa, dichas sondas cuentan con un recubrimiento de aislante fibrocerámico. Esto ayuda a concentrar más la energía calorífica y poder reconducirla hacia el interior de la sonda.

Dicho aislante, viene cubierto por una camisa de acero inoxidable, que no solo ayuda a compactarlo, si no que evita que la resistencia helicoidal crezca en diámetro debido a las dilataciones sufridas en el material cuando se encuentre a altas temperaturas. Esto ayuda a mantener el contacto diametral entre la resistencia y el cuerpo a calentar, y así no perder efectividad en la conducción de calor.

Adaptación de resistencia helicoidal a sondas

A pesar de que la resistencia escogida sea la más adecuada por geometría, existe la dificultad de transmitirle el calor por conducción debido a sus diferentes diámetros del cuerpo, incluyendo la rosca, y a la poca longitud que sobresale por debajo del depósito. Por esto sería conveniente el diseño de un elemento intermedio que acomode los dos elementos involucrados en la transmisión de calor.

Además, tanto las resistencias eléctricas como el resto del sistema deben estar bien aisladas del agua que se almacenará en el depósito.

Si se roscasen las sondas lambda directamente en la chapa del depósito a la hora de instalarlas para hacer el ensayo, podría darse el caso de que la junta de aleación deformable no hiciese buena estanqueidad por cualquier motivo o defecto de éstas, lo que ocasionaría una fuga de agua a la hora de sumergirlas. Además, si los hilos de la rosca del depósito resultasen dañados debido a un par excesivo aplicado durante la instalación de las sondas, podrían suponer una reparación costosa al ser todo el depósito de una sola pieza.

Para solucionar todos estos inconvenientes se han diseñado unos casquillos del mismo material que el depósito.



Figura 28 – Casquillo adaptador



Figura 29 – Resistencias adaptadas a sondas

Las sondas se instalarán individualmente en los alojamientos de estos casquillos y estos irán soldados al fondo del depósito.

Se ha decidido realizar una unión por soldadura de dichos casquillos por los siguientes motivos

- Se desea una buena estanqueidad.
- Se desea una buena resistencia al par de apriete a la hora de roscar las sondas en ellos, ya que estas requieren un apriete de entre 35 y 45 Nm.
- Dificultad de encontrar juntas de estanqueidad estándar que soporten tan altas temperaturas.
- Sencillez en la fabricación y adaptación de las piezas a unir.

Una vez planteado el sistema de calentamiento, se detallan el resto de aspectos importantes y relativos a otras fases en el apartado “0 Depósito superior”

3.2.1.4. APLICACIÓN TÉCNICA

Dado que el punto clave del ensayo es el de alcanzar la temperatura deseada en el hexagonal de la tuerca, se decidió realizar un pequeño prototipo, que ayudase a decidir si el método de calentamiento era adecuado.

Para ello se fabricó un sistema simplificado de calentamiento, consistente en un casquillo mecanizado y roscado para poder albergar una sonda lambda roscada en él. Dicho casquillo iba soldado a un recipiente cilíndrico y con una resistencia helicoidal de 400W enrollada alrededor.



Figura 30 – Prototipo de sistema de calentamiento

Como se ha explicado en el punto “2.2.2.1 Introducción”, el primer paso es, obtener una temperatura de 400°C en la tuerca de la sonda lambda.

Por ello se realizó la primera prueba que fue simplemente darle tensión a la resistencia y observar como aumentaba la temperatura y ver si se alcanzaban los valores deseados.

Se observó que, pasados diez minutos la temperatura ya no aumentaba y el valor se había estancado en 383°C, medidos con un termopar tipo K en el hexágono de la sonda lambda.

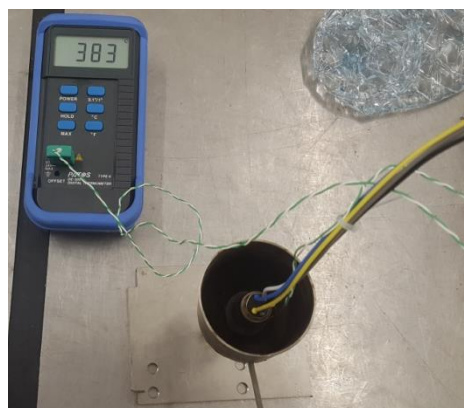


Figura 31 - Resultado del ensayo térmico 1 (Resistencia sin aislar)

Al no alcanzar la temperatura deseada, se decidió tratar de aislar la fuente de calor apantallándola con trozos de metal disponibles en el taller. El resultado fue que aproximadamente en 8 minutos se alcanzaron los 400°C, llegando hasta los 420°C a los 8 minutos y medio, dejando una curva de temperatura como se muestra a continuación

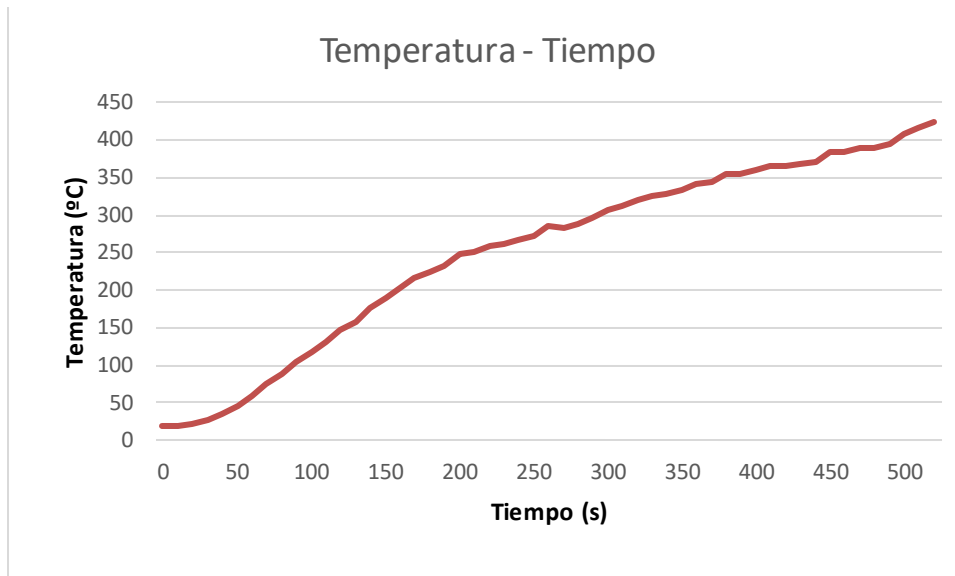


Figura 32 – Curva de temperatura del ensayo térmico 2 (Resistencia aislada)

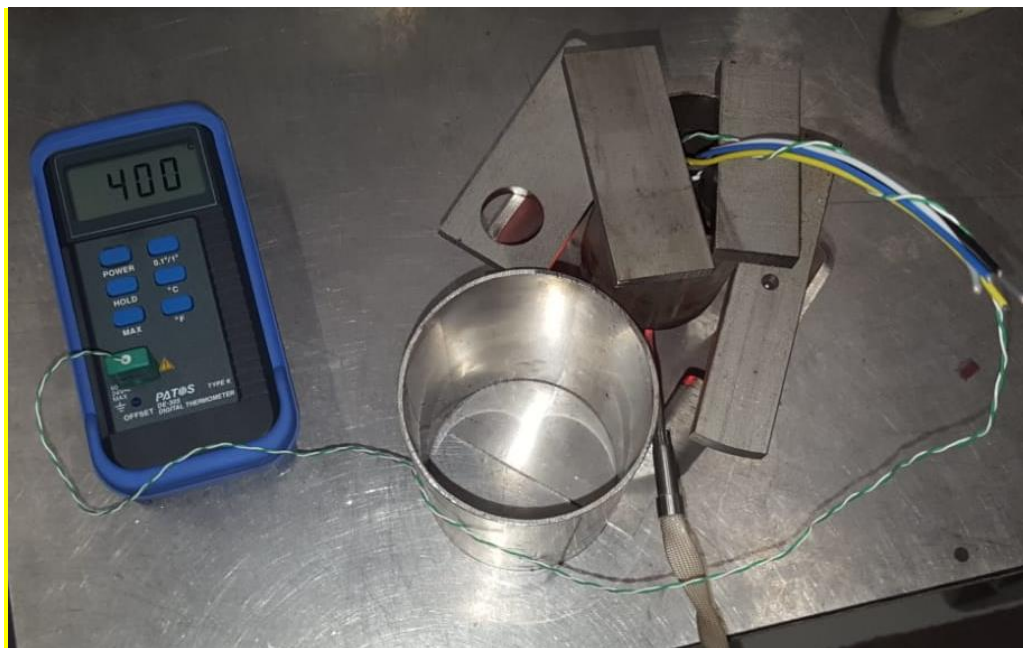


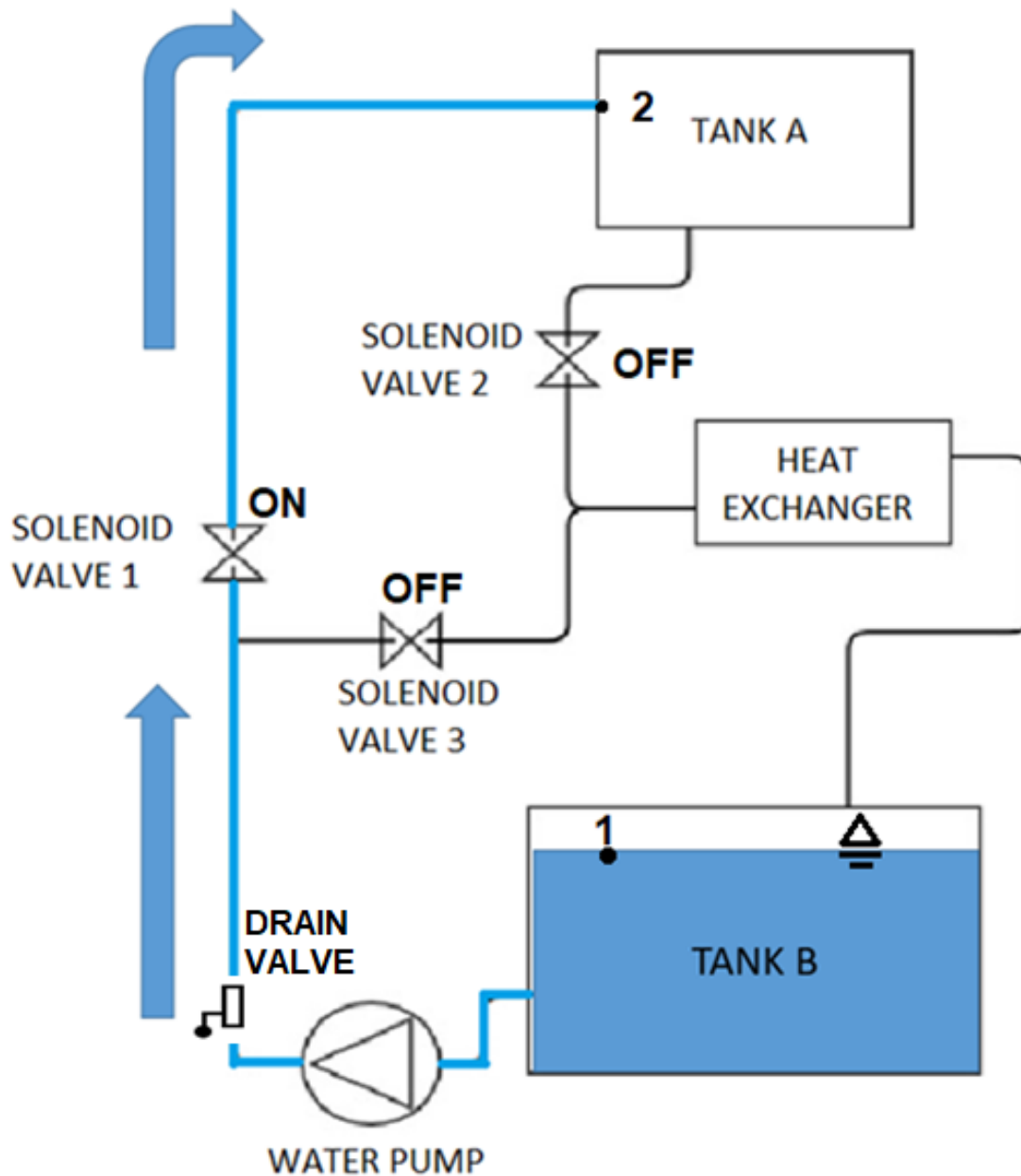
Figura 33 – Resultado del Ensayo térmico 2 (Resistencia aislada)

Con este ensayo se pudo determinar que, aislando correctamente la fuente de calor, y evitando así pérdidas por radiación, se podía alcanzar la temperatura deseada. No obstante, para dar un margen de seguridad, para el proyecto se decidió dar un factor de seguridad de 1,25, es decir, utilizar resistencias de 500W.

Además del incremento de potencia, se decidió que las resistencias debían venir encamisadas con un cilindro exterior de acero inoxidable, que además de ayudar a aislar térmicamente, también ayudaría a que el helicoidal no se abriese con la dilatación de las altas temperaturas, separándose así del casquillo y perdiendo contacto de transferencia.

3.2.2. IMPULSIÓN

Una vez se alcanza la temperatura de 400°C en la tuerca, se activa la segunda fase del proceso, la impulsión. Se impulsa agua del depósito inferior (tank B) al superior (tank A) hasta dejar las sondas lambda completamente sumergidas. Para realizar este proceso, se coloca una bomba entre los dos depósitos, como se ve en la siguiente imagen.



Esquema 2 - Sistema impulsión

Para calcular que potencia necesita la bomba, se definen los siguientes datos y propiedades:

Se impone una velocidad de 2m/s, ya que es la recomendable en canalizaciones con agua. Con esta imposición, se comprueba que el proceso de llenado no exceda los 90 segundos impuestos en los requisitos del cliente, y se procede al cálculo de la bomba.

$$\text{Tiempo llenado} \rightarrow 2 \frac{m}{s} \cdot \frac{(\pi \cdot 0.01m)^2}{4} \cdot \frac{1000dm^3}{1m^3} = \frac{0.157dm^3}{s} \rightarrow \frac{6dm^3}{0.157 \frac{dm^3}{s}} = 38.2 s$$

DATOS					
Tubería de cobre		Agua		Depósito	
Longitud	1.5m	Velocidad	2 m/s	Volumen tank A	6dm ³
Diámetro interior	10mm	Densidad 20°C	997 kg/m ³	Tiempo llenado	38.21s
Rugosidad relativa [ε]	0.0015	Viscosidad dinámica 20°C [μ]	0.001003 kg/m·s	Diferencia altura [z2-z1]	1m

Se realiza un Bernoulli entre los puntos 1 y 2:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \alpha_1 \frac{\bar{v}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \alpha_2 \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + h_L \pm h_s$$

P1=P2	Z1=0	V1=0	α1=α2=1
-------	------	------	---------

Se obtiene:

$$HB = z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + hl_{1,2}$$

El siguiente paso es calcular las pérdidas de carga:

$$\text{Ecuación Darcy - Weisbach} \rightarrow hl_{1,2} = \left(f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) + hl_{acc}$$

$$\text{Accesorios} \rightarrow hl_{acc} = \sum K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\text{Factor de fricción} \rightarrow f = f\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right)$$

$$\text{Reynolds} \rightarrow Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{2 \left(\frac{m}{s}\right) \cdot 0.01m \cdot 997 \frac{kg}{m^3}}{0.001003 \frac{kg}{m \cdot s}} = 19880$$

$$f = f\left(19880, \frac{0.0015}{0.01}\right) \rightarrow \text{Diagrama de Moody} \rightarrow f = 0.045$$

Para calcular las pérdidas de carga en los accesorios es necesario definir:

Concepto	Cantidad	K
Codo 90°	10	1.5
Codo 45°	1	1
"T" Confluencia simple	5	1
Válvula corte directo	2	10
Ampliación	1	1
Reducción	1	0.5

Tabla 1 - Valor del coeficiente de pérdida de carga localizada (K)

$$hl_{acc} = ((1.5 \cdot 10) + 1 + (5 \cdot 1) + (2 \cdot 10) + 1 + 0.5) \cdot \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} = 8.66m$$

$$hl_{1,2} = \left(0.045 \cdot \frac{1.5m}{0.01m} \cdot \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} \right) + 8.66m = 10.74m$$

$$HB = 1m + \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} + 10.74m = \mathbf{12.57m}$$

Finalmente se calcula la potencia mínima de la bomba, para poder impulsar el agua hasta el tank A:

$$\dot{W}_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot HB = 997 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.157 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 12.57m = \mathbf{19.3W}$$

3.2.3. INUNDACIÓN

3.2.3.1. CALENTAMIENTO DEL AGUA

Una vez se ha llenado el depósito superior, el agua debe permanecer un minuto antes de ser vaciada. Durante este tiempo, el agua sufrirá un incremento de temperatura que se debe conocer para posteriormente aplicar medidas de refrigeración.

Para calcular la temperatura que alcanzará el agua, se plantea el siguiente problema:

DATOS	
Volumen agua en tank A	6 litros
Tiempo de contacto [t]	1minuto = 60segundos
Calor específico agua [cp]	$4.18 \frac{J}{g \cdot ^\circ C} \cdot \frac{1000g}{1Kg} = 4180 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C}$
*Fuente de calor [Q]	500Wx3 = 1500W

*Fuente calor [Q], se trata de tres resistencias de 500watios cada una.

Para simplificar los cálculos, se asumen las siguientes normas:

1. Sistema cerrado.
2. Balance de materia es constante $\rightarrow BM = \frac{dM}{dt} = 0$
3. No existen pérdidas de calor por convección en las paredes del recipiente.
4. No existe cambio de fase ni pérdida de energía.
5. Densidad y calor específicos constantes.
6. Se considera que la temperatura del agua en el recipiente es homogénea.

Para solucionar el problema, se aplica la ley de conservación de la energía:

$$\text{Energía final} - \text{Energía inicial} = \text{Energía neta transferida al sistema}$$

$$\text{Energía inicial del sistema} = U_i + E_{ci} + E_{Pi}$$

$$\text{Energía final del sistema} = U_f + E_{cf} + E_{Pf}$$

$$\text{Energía transferida} = Q + W$$

Donde	
[U] Energía interna	$U = m \cdot cp$
[Ec] Energía cinética	$E_c = \frac{1}{2} v^2$
[Ep] Energía potencial	$E_p = g \cdot z$
[Q] Calor transferido al sistema	$Q = m \cdot cp (T_f - T_i)$
[W] Trabajo realizado	$W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta r}$

Como se considera un sistema cerrado en el cual no interviene la velocidad y el fluido se encuentra en reposo, la energía cinética y potencial serán cero. De modo que, solo se obtiene energía interna del fluido.

Se realiza un balance de energía en función del tiempo:

$$\frac{dE}{dt} = Q_{in} - Q_{out} + Q_{prod}$$

Según la suposición inicial $\rightarrow Q_{in} = Q_{out} = 0$

$$Q_{in} \rightarrow \text{Calor entrada}$$

$$Q_{out} \rightarrow \text{Calor consumido}$$

$$Q_{prod} = Q \rightarrow \text{Calor producido}$$

Finalmente se obtiene:

$$\frac{dE}{dt} = Q = 1500W$$

Como la única fuente de energía es la interna, desarrollamos y planteamos sistema de ecuaciones en función del tiempo y de la temperatura:

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = Q \\ \frac{dU}{dT} = m \cdot cp \end{cases}$$

Se resuelve el sistema y se busca la temperatura final:

$$\text{Densidad del agua} = \frac{997kg}{m^3}$$

$$\text{Masa de agua para un volumen de 7litros} \rightarrow \text{masa} = \text{densidad} \cdot \text{volumen}$$

$$m = \frac{997kg}{m^3} \cdot 6dm^3 \cdot \frac{1m^3}{1000dm^3} = 5.98kg \approx 6kg$$

$$m \cdot cp \cdot dT = Q \cdot dt \rightarrow \int_{20}^x dT = \frac{Q}{m \cdot cp} \int_0^{60} dt$$

$$(x - 20)^{\circ}C = \frac{1500 \frac{J}{s}}{6kg \cdot 4180 \frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}} \cdot 60s \rightarrow x = 23.5^{\circ}C$$

De este modo, se comprueba que cuando se realiza el choque térmico el agua se calienta 3,5°C. Es decir, que con cada ciclo completo que se realice, la temperatura del agua aumentará.

3.2.4. VACIADO

3.2.4.1. REFRIGERACIÓN DEL AGUA

Como se ha demostrado en el apartado anterior, el agua irá subiendo de temperatura a medida que se realicen los ciclos, de modo que es necesario introducir un sistema de refrigeración. La refrigeración consiste en la extracción de calor de una sustancia. Para ello, es necesario poner en contacto la sustancia que se quiere refrigerar, de forma directa o indirecta, con otra que esté a menor temperatura.

El fluido a refrigerar es agua, así que empezaremos estudiando sus propiedades:

Propiedades del agua

Como se observa en el siguiente gráfico el agua se encuentra en tres estados dependiendo de la temperatura y la presión a la que esté sometida.

A presión ambiente 101 KPa (1 atmósfera), el agua se mantiene en estado sólido (hielo) por debajo de 0°C (punto de congelación), en estado líquido por encima de 0°C hasta 99,98°C (punto de ebullición) y en estado gas (vapor de agua) por encima de los 99,98°C. A medida que sube la presión, el agua es capaz de mantenerse en estado líquido a mayor temperatura.

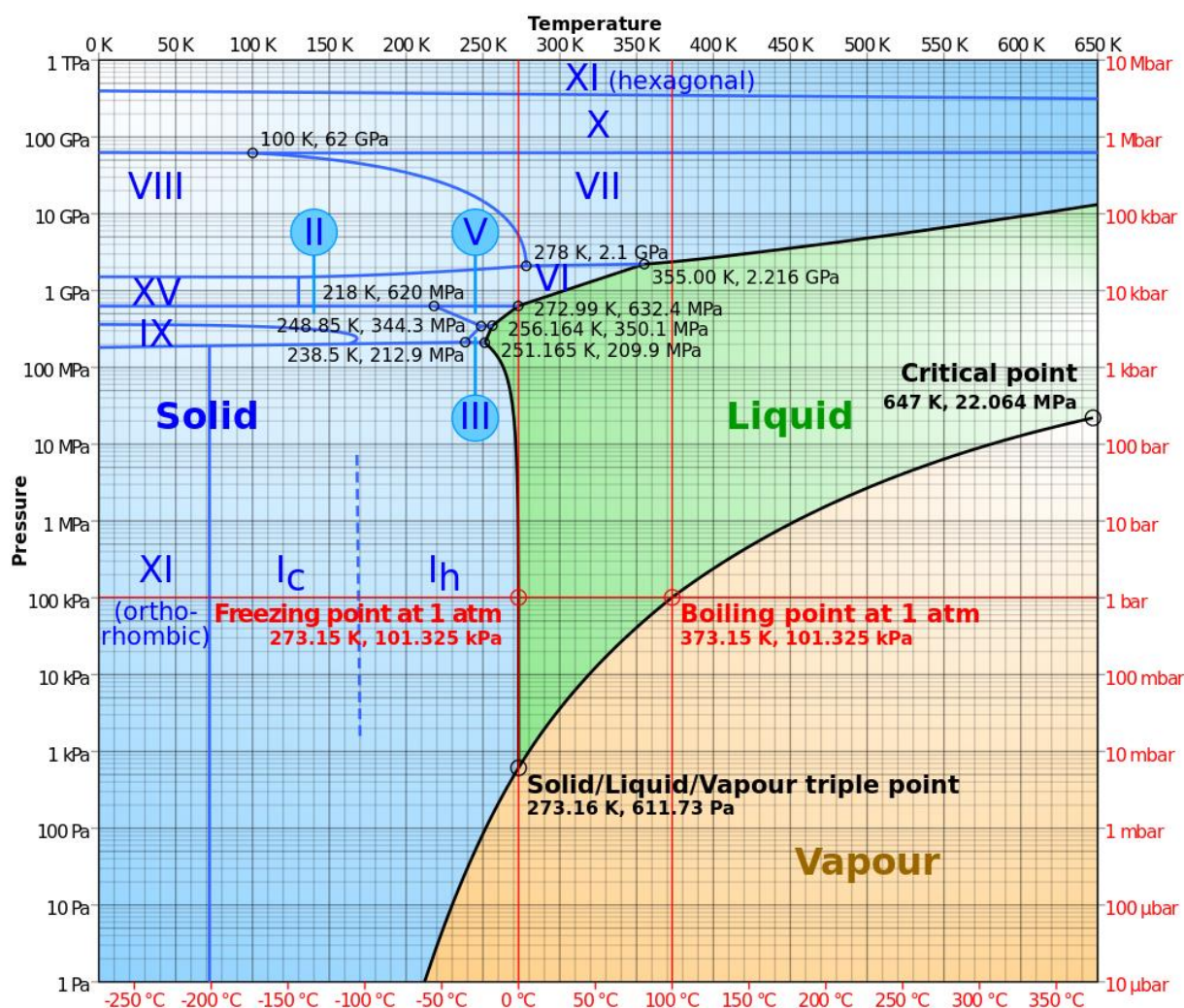


Gráfico 3 - Propiedades del agua

En el caso del “water submergence test”, el agua se mantendrá a presión ambiente (1atm), de modo que la temperatura máxima que ésta podrá alcanzar es de 99.98°C.

Para realizar el cálculo de refrigeración del agua evacuada, se realiza un estudio aproximado del flujo de calor convección entre el sólido y el fluido por metro lineal de tubería.

Hipótesis

Se realiza el estudio en el peor de los casos, agua a temperatura máxima. De este modo, se asegura el perfecto funcionamiento del sistema ante cualquier avería.

- Temperatura entrada del agua = 99°C
- Temperatura del tubo (aire exterior) = 20°C
- Presión = 101 KPa
- Diámetro tubería=10mm

Ley de Newton convección:

$$\dot{Q}_c = h_c \cdot A \cdot (T_s - T_f)$$

- \dot{Q}_c = Flujo de calor por convección entre la superficie del sólido y el fluido [W]
- h_c = Coeficiente de transmisión de calor por convección en la fase sólido-fluido [W/m²·K]
- A= Área superficial del solido en contacto con el fluido [m²]
- T_s= Temperatura de la superficie del sólido [°C ó K]
- T_f= Temperatura del fluido [°C ó K]

Al tratarse del flujo de agua que circula por una tubería por gravedad, se considera que el proceso de intercambio será convección natural.

Primero se calcula el número de Grashof:

$$Gr_L = \frac{\beta \cdot g \cdot \rho^2 \cdot L^3 \cdot \Delta T}{\mu^2}$$

Propiedades del aire (β , ρ , μ , Pr) a $T_m \rightarrow T_m = \frac{T_s + T_f}{2} = \frac{20 + 99}{2} = 59.5^\circ\text{C}$

Propiedades del aire a 60°C			
B (coeficiente de expansión)	0.00021 K ⁻¹	μ (viscosidad)	20.03 · 10 ⁻⁶ Kg/m·s
P (densidad)	1.0596 Kg/m ³	Pr (nº de Prandtl)	0.708

Tabla 2 - Propiedades del aire a 60°C

$$Gr = \frac{2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 9.8 \cdot 1.0596^2 \cdot 1^3 \cdot 347}{(20.03 \cdot 10^{-6})^2} = 2.017 \cdot 10^9$$

Para saber si se trata de flujo laminar o turbulento:

$$\text{Flujo laminar} \rightarrow 10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9$$

$$\text{Flujo turbulento} \rightarrow 10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$$

$$Gr \cdot Pr = 2.017 \cdot 10^9 \cdot 0.708 = 1.49 \cdot 10^9 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Acto seguido, se determina el coeficiente de transmisión de calor por convección (hc)

$$hc = a \left(\frac{\Delta T}{l} \right)^b = 1.310 \cdot \left(\frac{347}{1} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)} = \frac{9.20 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot K$$

Geometria	a	b	ℓ	Rang d'aplicació i Tipus de Flux
1) Superfícies Verticals (Plaques, Parets o Cilindres)	1,415	1/4	Altura Placa o Cilindre L	$10^4 < Gr_L \cdot Pr < 10^9$ Flux Laminar
	1,310	1/3	1,0	$10^9 < Gr_L \cdot Pr < 10^{12}$ Flux Turbulent
2) Cilindres Horizontals	1,317	1/4	Diàmetre Extern D	$10^3 < Gr_D \cdot Pr < 10^9$ Flux Laminar
	1,241	1/3	1,0	$10^9 < Gr_D \cdot Pr < 10^{12}$ Flux Turbulent

Tabla 3 - Cálculo de convección según geometría y flujo

Finalmente, se determina que el flujo de calor que ha de disipar la tubería por cada metro es de 27.39W para poder refrigerar el agua a 20°C.

$$\dot{Q}_c = h_c \cdot A \cdot (T_s - T_f) = 9.20 \cdot \pi \cdot 0.010 \cdot (372 - 293) = 27.39 \text{ W/m}$$

Como el proceso de vaciado es rápido y el fluido apenas está en contacto con la tubería, se añade un intercambiador de calor para reducir la temperatura en el agua y asegurar, que siempre se encuentra a temperatura ambiente.

Las tuberías se diseñan en cobre debido a su gran conductividad térmica (364 W/m°C), para ayudar a la refrigeración del fluido.

TIPOS DE INTERCAMBIADORES

La principal función de los intercambiadores de calor, es cambiar la entalpía del fluido para así cambiar de temperatura al fluido.

Existen diferentes tipos de intercambiadores de calor para refrigerar una sustancia, estos se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. Refrigerador por aire

El aire es el encargado de reducir la temperatura del fluido a refrigerar.

2. Refrigerador por agua

Se utiliza agua para realizar el cambio de temperatura con el fluido.

Dentro de estos dos grupos, se pueden distinguir según el proceso de transferencia de calor:

○ Contacto directo

El calor se transfiere por contacto entre dos fluidos. Normalmente entre un gas y un líquido.

○ Contacto indirecto

El calor se transfiere mediante dos corrientes que permanecen separadas por paredes divisoras.

3.2.4.2. INTERCAMBIADOR DE CALOR

El sistema elegido para refrigerar el agua, ha sido un refrigerador por aire de contacto indirecto.

Este tipo de intercambiadores se denominan radiadores. Su funcionamiento consiste en la circulación del fluido que se desea refrigerar por un circuito de tubos en los que perpendicularmente se hace circular aire de forma natural o forzada.

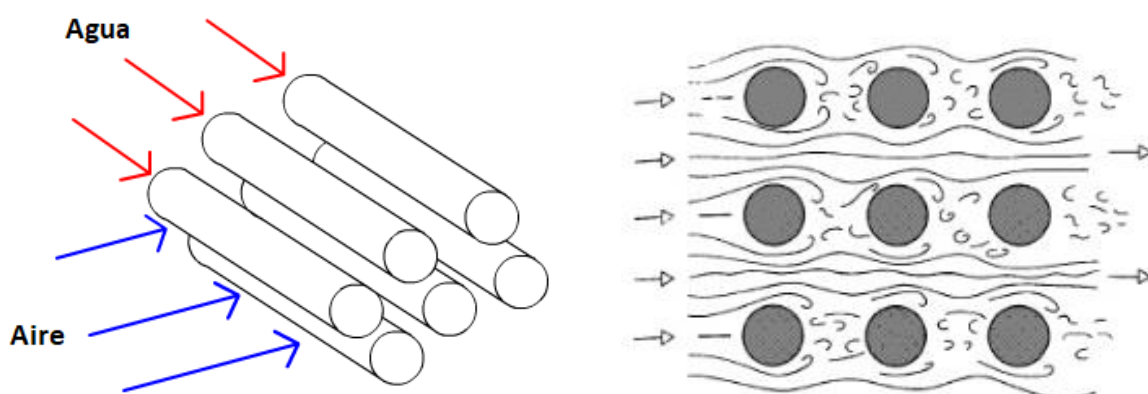


Figura 34 - Principio refrigeración en radiadores

En este caso, se hace circular aire de forma forzada mediante unos ventiladores, ya que la máquina se mantendrá estática en una sala climatizada y no existen corrientes de aire que ayuden a la refrigeración.

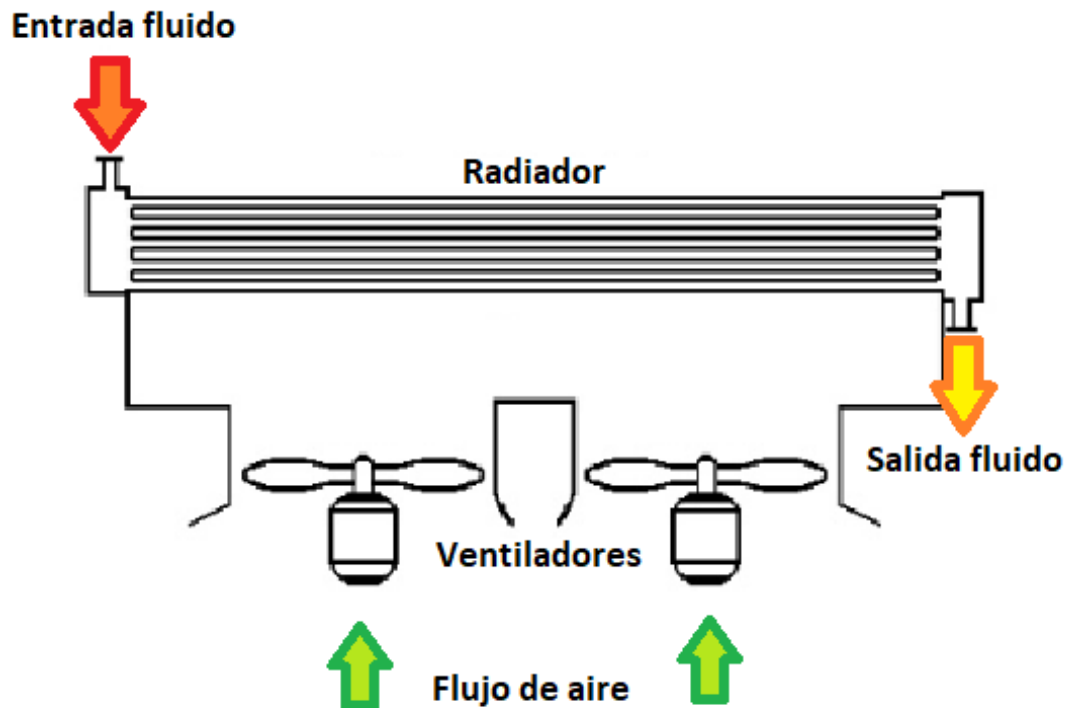
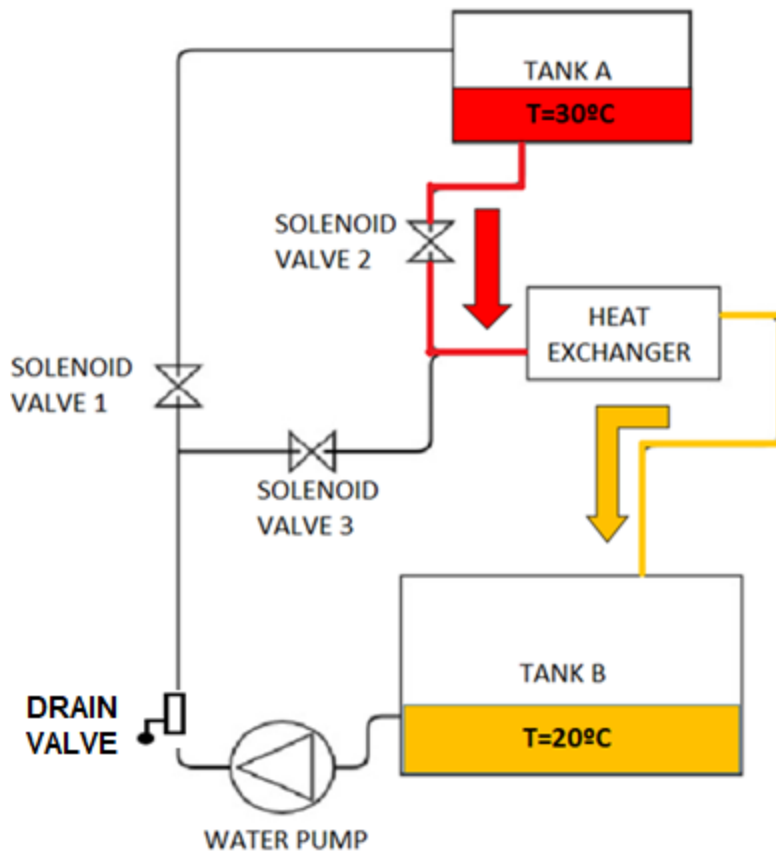


Figura 35 - Radiador con ventiladores

Con este método se consigue una refrigeración económica debido a su fácil instalación y mantenimiento.

Para determinar el sistema de intercambiador necesario, se plantea el siguiente problema:

Determinar el caudal de aire necesario, para reducir la temperatura del fluido de 30°C a 20°C.



Esquema 3 - Sistema de vaciado

DATOS		
Concepto	Valor	Unidades
Temperatura inicial agua	30	°C
Temperatura final agua (deseada)	20	°C
G (gravedad)	9,81	m/s ²
Densidad agua	997	kg/m ³
Cp agua (calor específico)	4,18	KJ/Kg·°C
V desagüe (velocidad)	3	m/s
Q (caudal)	0,2	dm ³ /s
Volumen tank A	6	dm ³
Diámetro tubería	10	mm
Cp aire (calor específico)	1	KJ/Kg·°C

CÁLCULOS

Principio de termodinámica $\rightarrow Q_w = Q_a$

$Q_w \rightarrow$ Energía agua	$Q_a \rightarrow$ Energía aire
$q_w \cdot \rho_w \cdot C_{p_w} \cdot \Delta T_w = q_a \cdot \rho_a \cdot C_{p_a} \cdot \Delta T_a$	
$q_w \rightarrow$ caudal agua	$q_a \rightarrow$ Caudal aire
$\rho_w \rightarrow$ densidad agua	$\rho_a \rightarrow$ Densidad aire
$C_{p_w} \rightarrow$ Calor específico agua	$C_{p_a} \rightarrow$ Calor específico aire
$\Delta T_w \rightarrow$ Incremento temperaturas agua	$\Delta T_a \rightarrow$ Incremento temperaturas aire

$$0.2 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 997 \frac{kg}{m^3} \cdot 4.18 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot (30 - 20)^\circ C = q_a \cdot 1 \frac{Kg}{m^3} \cdot 1 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot (30 - 20)^\circ C$$

$$8.33 \frac{KJ}{s} = q_a \cdot 10 \frac{KJ}{m^3} \rightarrow [q_a = 0.833 \frac{m^3}{s} = 3000 \frac{m^3}{h}]$$

Sabiendo el caudal necesario de aire para refrigerar el agua a 20°C, dimensionamos el radiador en función del ventilador.

En este caso, se opta por la siguiente solución:

Ventilador compacto EBMPAPST, modelo 4118 N/2H8P:

Marca	Modelo	Dimensiones/mm	Caudal/ m³/h
EBMPAPST	4118 N/2H8P	119x119x38	570

Tabla 4 - Especificaciones ventilador

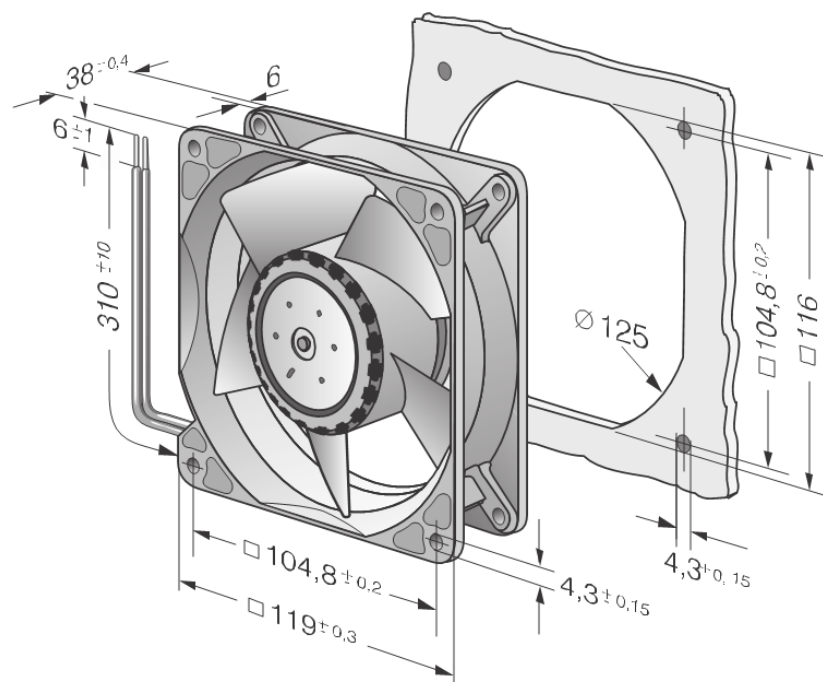


Figura 36 - Medidas ventilador

Para el intercambiador, se opta por la siguiente solución:

Marca	Modelo	Dimensiones/mm
ThermaltakePacific	CL480	522x132x64

Tabla 5 - Especificaciones radiador CL480



Figura 37 – Radiador Thermaltake Pacific

Este intercambiador está diseñado para incorporar de ventiladores compactos de 120x120mm. De modo que, al instalar tres ventiladores compactos del modelo propuesto, se alcanza un caudal de aire de 1710 m³/h.

Como aparentemente, esta solución no es suficiente, se adoptan las siguientes medidas preventivas:

Primera medida:

El tank B, siempre tendrá una reserva de agua a temperatura ambiente, de modo que al llegar el agua del intercambiador ésta compensará la temperatura con la que hay en el tank B. Si con la compensación, el agua no llegara a alcanzar la temperatura deseada, se habilita una segunda medida.

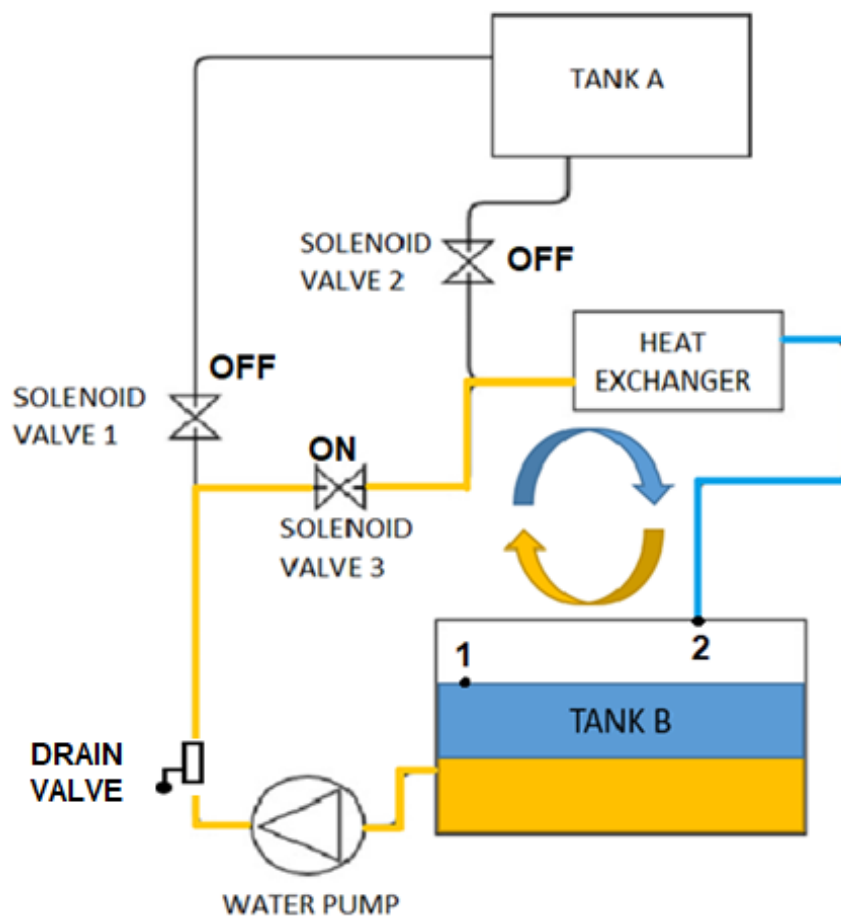
Segunda medida:

Se instala en el tank B, un termómetro para leer en todo momento la temperatura del agua. Si ésta no tiene la temperatura deseada, se activa un circuito de recirculación, en el que se hace circular el agua a través del intercambiador de calor hasta alcanzar la temperatura de ensayo (20°C).

3.2.4.3. RECIRCULACIÓN

En este proceso, interviene de nuevo, la bomba de impulsión e intervienen diferentes accesorios. De modo que se calcula la potencia de nuevo, para saber si variar respecto en el proceso de impulsión.

DATOS					
Tubería de cobre		Agua		Depósito	
Longitud	1 m	Velocidad	2 m/s	Diferencia altura [z2-z1]	0.01m
Diámetro interior	10mm	Densidad 25°C	997 kg/m ³		
Rugosidad relativa [ε]	0.0015	Viscosidad dinámica 20°C [μ]	0,000891 kg/m·s		



Esquema 4 - Proceso recirculación

Accesorios		
Concepto	Cantidad	K
Codo 90°	6	1.5
"T" Confluencia simple	2	1
Válvula corte directo	2	10
Ampliación	1	1
Reducción	1	0.5
Radiador	1	50

Tabla 6 - Valor del coeficiente de pérdida de carga localizada (K)

Como en el cálculo anterior, se realiza un Bernoulli definiendo los nuevos puntos 1 y 2:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \alpha_1 \frac{\bar{v}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \alpha_2 \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + h_L \pm h_s$$

$P_1=P_2$	$Z_1=0m$	$V_1=0m/s$	$\alpha_1=\alpha_2=1$
-----------	----------	------------	-----------------------

Se obtiene:

$$HB = z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + hl_{1,2}$$

El siguiente paso es calcular las pérdidas de carga:

$$Reynolds \rightarrow Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{2 \left(\frac{m}{s}\right) \cdot 0.01m \cdot 997 \frac{kg}{m^3}}{0,000891 \frac{kg}{m \cdot s}} = 22379$$

$$f = f\left(22379, \frac{0.0015}{0.01}\right) \rightarrow \text{Diagrama de Moody} \rightarrow f = 0.044$$

$$hl_{acc} = ((1.5 \cdot 6) + (1 \cdot 2) + (2 \cdot 10) + 1 + 0.5 + 50) \cdot \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} = 16.82m$$

$$hl_{1,2} = \left(0.044 \cdot \frac{1.5m}{0.01m} \cdot \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}\right) + 16.82m = 16.12m$$

$$HB = 0.01m + \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} + 16.12m = \mathbf{17.47m}$$

Finalmente se calcula la potencia mínima de la bomba, para poder impulsar el agua durante el circuito de recirculación:

$$\dot{W}_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot HB = 997 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.157 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 17.47m = \mathbf{26.83W}$$

Se observa un incremento de potencia respecto al sistema de impulsión debido a los diferentes accesorios que incorpora este circuito. De modo que la elección de la bomba se realizará frente a estos cálculos.

Para que la bomba no trabaje a plena carga y así pueda alargar su vida útil, se calcula la potencia necesaria para un rendimiento del 70%:

$$\dot{W}_u = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot HB}{\eta} = \frac{997 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.157 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 17.47m}{0.7} = \mathbf{38.3W}$$

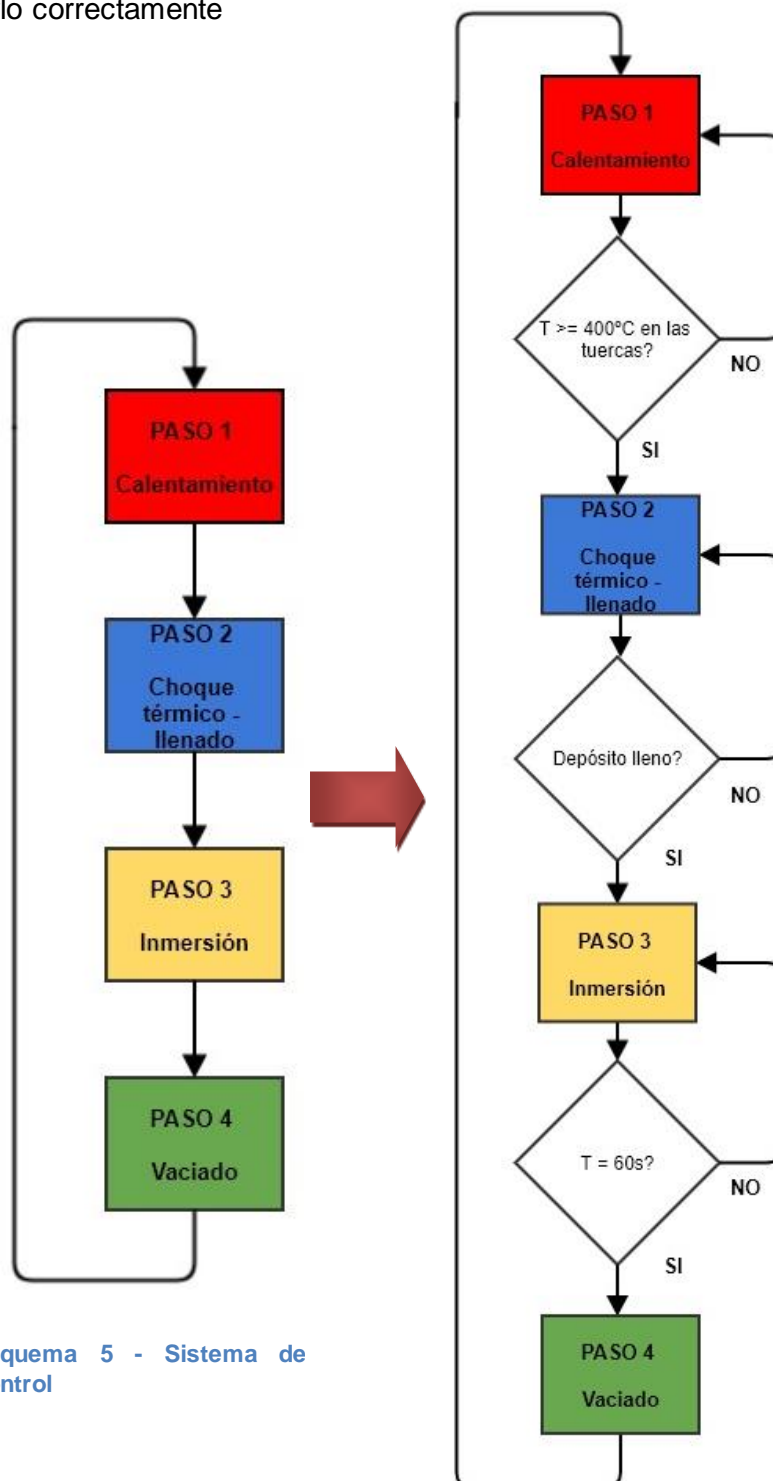
De modo, que la potencia mínima de la bomba será de **38W**.

3.2.5. SISTEMA DE CONTROL

Para que el sistema funcione correctamente, es necesario un sistema de control electrónico. En este apartado se describirá el diseño de los procesos, su control y los elementos de medición escogidos.

La metodología para la realización de este apartado será la de estudiar el proceso para ver que se requiere y de qué forma se va a hacer.

Si se esquematiza el proceso del ensayo descrito por la norma, reduciéndolo a su mínima expresión, se podrán detectar las necesidades reales y analizarlas para poder ejecutarlo correctamente



Esquema 5 - Sistema de control

Con este pequeño ejercicio, se puede conocer qué partes del proceso se deben controlar y determinar de qué forma se hará. Con ello detectamos que debemos controlar:

- Temperatura objetivo en el hexágono (tuerca).
- Nivel de agua suficiente en la fase de llenado, antes de empezar a contar el tiempo de inmersión.
- Si ha pasado el tiempo de 60 segundos antes de vaciar el depósito.

Si además pensamos en qué necesitamos, entre el fin de un ciclo y el inicio del siguiente, veremos que es indispensable que la temperatura del agua que se halla en el depósito inferior esté a una temperatura correcta para realizar el choque térmico. Esto no será un problema en el primer ciclo, ya que la temperatura del agua será la del ambiente. No obstante, tras evacuar el agua caliente del depósito superior y devolverla al depósito inferior, estas condiciones podrían cambiar y elevar la temperatura del agua como se ha explicado en el punto *“3.2.3 Inundación”*

De este análisis, nace otro proceso:

- Controlar que la temperatura previa al choque térmico sea la correcta, ya que de lo contrario se desvirtúa la prueba.

Analizadas las necesidades básicas, se detalla la elección de los elementos de control requeridos.

3.2.6. ELEMENTOS DE CONTROL

3.2.6.1. CONTROL DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Durante el proceso de calentamiento de la tuerca hasta alcanzar la temperatura, se debe prestar atención a las resistencias para que no se estropeen y se debe incorporar un indicador para que informe de la temperatura en la tuerca.

TEMPERATURA DE LAS RESISTENCIAS HELICOIDALES

Las resistencias elegidas para el calentamiento de las sondas cuentan con termopares incorporados dentro de la funda tubular. Estos sirven para conocer la temperatura de la resistencia y poder protegerla de fundirse o quemarse.



Figura 38 - Resistencia helicoidal

Funcionamiento de un termopar

Un termopar es un transductor que se compone de dos metales distintos unidos por un extremo. Si la temperatura de unión de medida y la de la unión de referencia son distintas, se establece una diferencia de potencial que produce una corriente eléctrica, debido al efecto Seebeck.

Dicho efecto consiste en crear una fuerza electro motriz (FEM) a partir de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes. Si el circuito está completamente cerrado se crea un voltaje del orden de varios mili voltios por grado Kelvin.

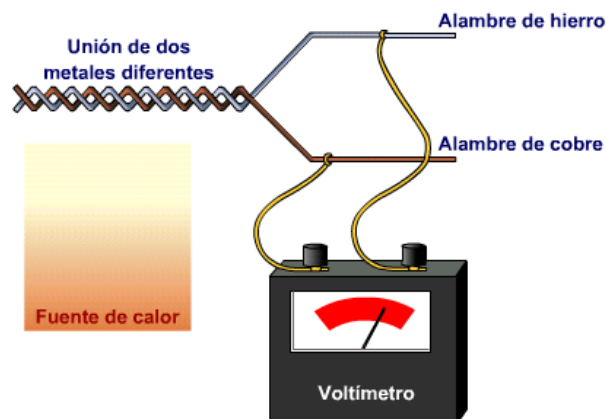


Figura 39 - Efecto Seebeck

Clasificación y elección de los termopares

Los termopares se clasifican en función de los materiales que se utilizan en la unión. A continuación, se muestra una tabla con el tipo de termopar, el rango de temperaturas de uso y la FEM generada.

Tipo	Intervalo de medida	F.E.M. mV/°C
Cromel-Constantan Tipo E	- 200 a 800 °C	0,059
Cobre-Constantan Tipo T	- 200 a 350 °C	0,039
Hierro-Constantan Tipo J	- 40 a 750 °C	0,050
Cromel-Alumel Tipo K	- 200 a 1.200 °C	0,039
Pt-Rh 6%/Pt-Rh 30% Tipo B	600 a 1.700 °C	0,0004
Pt-Pt/Th 13% Tipo R	0 a 1.600 °C	0,005
Pt-Pt/Rh 10% Tipo S	0 a 1.600 °C	0,005

Tabla 7 - Tipo termopar

Para la selección del termopar se ha tenido en cuenta el rango de temperatura en el que se trabajará y la facilidad para encontrar dichos termopares en el mercado.

El rango de temperatura al que se quieren calentar las sondas es de entre 20°C y 400°C. No obstante, la resistencia eléctrica se pondrá a mucha más temperatura. Se descarta el de tipo T por no llegar ni a los 400°C y dejamos tres posibles candidatos, los de tipo E, J y K.

El de tipo E no es muy común encontrarlo en el tipo de resistencia que se va a utilizar, así que esto nos deja con el tipo J y el tipo K, y entre los dos modelos, el de tipo J podría darse el caso que quedase justo de temperatura para el rango de trabajo de la resistencia.

Por este motivo se escoge el termopar de tipo K que irá alojado dentro de las resistencias helicoidales.

TEMPERATURA DE CONTROL DE LAS SONDAS

Además del sistema de control de temperatura en las resistencias eléctricas para evitar daños o fallos de funcionamiento, es necesario controlar uno de los puntos clave del ensayo, el alcance de 400°C en la tuerca de las sondas.

Esta medición también se realizará a través de termopares que estarán situados en puntos estratégicos del depósito superior.

La elección de dichos termopares también se ha basado en la “*Tabla 5 – Tipo de termopar*” vista en el apartado anterior.

Esta vez, el rango de temperatura no es tan alto, de modo que se escoge un termopar capaz de leer hasta una temperatura de 750°C, lo que hace referencia a un termopar de tipo J, ya que uno de tipo T podría quedar justo de temperatura y fundirse.



Figura 40 - Termopar tipo K

3.2.6.2. CONTROL DEL PROCESO DE LLENADO

Durante el proceso de llenado, se necesita tener un sensor para informar de cuando se ha alcanzado el nivel máximo y que la bomba se detenga.

Control de nivel de agua en el depósito superior

Existen diferentes tipos de sensores para la detección de nivel de fluidos.

- Transductores de nivel eléctricos

Son dispositivos que son capaces de traducir el nivel de un fluido que se encuentre en un recipiente en una señal eléctrica de salida.

En este grupo se incluirían los sensores de tipo capacitivo, flotadores magnéticos, medidores de desplazamiento, etc.

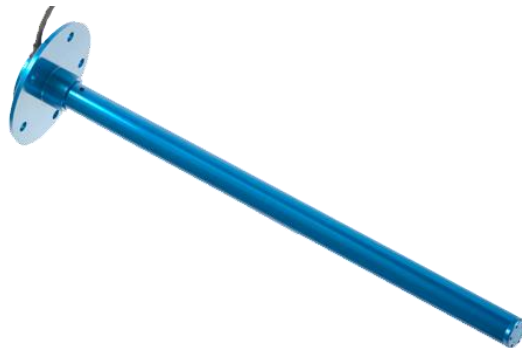


Figura 41 - Sensor capacitivo

- Interruptores todo o nada

Dichos dispositivos no son capaces de cuantificar el nivel exacto de un fluido, pero pueden establecer si se hallan bajo mínimos o sobre máximos.



Figura 42 - Sensor tipo interruptor optoelectrico

Elección del tipo de dispositivo

En nuestro caso, queremos determinar que el nivel de agua se encuentra por encima del punto indicado en la norma del ensayo, es decir, cubriendo el aislante del cableado.

Por este motivo nos basta un sensor del tipo interruptor, para poder enviar una señal de que se ha establecido el nivel mínimo para empezar a contar el tiempo de inmersión.

Existen de diversos tipos, entre ellos los más conocidos son los optoelectrónicos y los flotantes.

Los optoelectrónicos se caracterizan por ser más precisos y poder trabajar en situaciones con poco nivel de agua, con una gran sensibilidad y poder soportar mayores presiones. Su funcionamiento es mediante la interrupción de luz infrarroja emitida por un diodo infrarrojo y recibida por un fototransistor.

Por otro lado, están los de boya. Éstos son mucho más sencillos. Los hay de todo tipo de calidades y resistencias para diferentes aplicaciones, ya sean altas temperaturas, fluidos corrosivos, etc.



Figura 43 - Sensor de boya

El funcionamiento de éstos consiste en que la parte inferior del interruptor pivota a modo de boya en función del nivel de fluido, hasta que dicha parte inferior queda alineada con el eje horizontal y cierra el circuito. Se pueden instalar tanto como se muestra en la imagen si queremos controlar el nivel máximo, o en invertido si se quiere controlar el nivel mínimo.

En este caso se ha elegido un sensor flotante por su sencillez mecánica y facilidad para encontrar recambios.

3.2.6.3. CONTROL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Una vez se ha realizado la inmersión de las sondas y han pasado los 60 segundos, se debe evacuar el agua del depósito superior y llevarla al inferior, con la condición de que cuando vuelva a repetir el ciclo el agua se encuentre a 20°C. De modo, que se necesitan diferentes sensores para controlar las diferentes situaciones:

TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO INFERIOR

Para controlar la temperatura del fluido en el depósito inferior se utilizará una sonda de temperatura de tipo resistivo. Esta se colocará en el depósito inferior de modo que esté en contacto directo con el agua.

Funcionamiento

La temperatura a la que está sometido un material conductor influye directamente en su resistencia eléctrica.

Mediante el coeficiente de temperatura α se obtiene la variación de resistencia a una temperatura determinada por cada grado de variación de la temperatura. Para los conductores usuales, la ley de variación es lineal y corresponde a la siguiente ecuación:

$$R_t = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot T)$$

R_t = Resistencia a T (°C)

R_o = Resistencia a 0°C

α = Coeficiente de temperatura

T = temperatura

Existen diversos tipos de sondas termométricas, pero las más usuales son las de captador de bulbo. Consiste en una vaina metálica que protege el hilo conductor que va dentro.

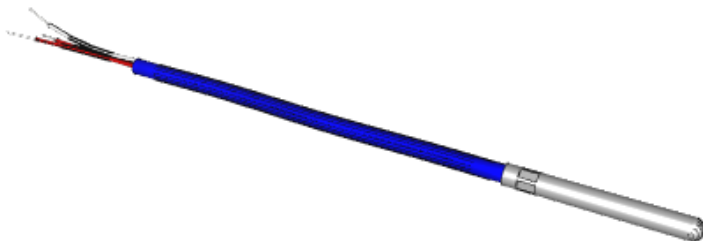


Figura 44 - Sonda temperatura

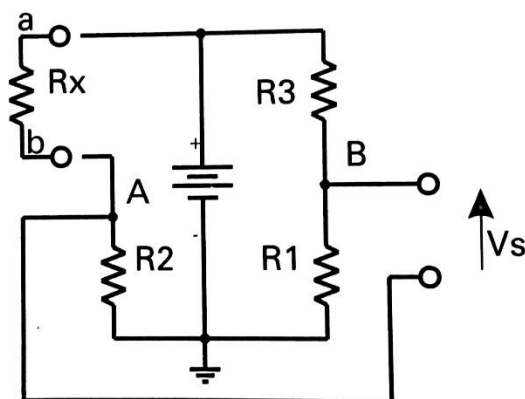
La variación de resistencia de las sondas se mide normalmente con un puente de Wheatstone, y sirve para obtener una tensión a partir de una resistencia.

A la temperatura de 0°C el puente deberá estar equilibrado y cumplirse la siguiente expresión, en cuyo caso la tensión de salida V_s será igual a 0.

$$R_x \cdot R1 = R2 \cdot R3$$

R_x = resistencia en la medición (ohm)

V_s = Tensión de salida (V)



Esquema 6 - Principio Wheatstone

Dado que $V_s = V_B - V_A$, cuando la temperatura está por encima de 0°C, R_x aumenta, provocando una disminución de V_A y dando lugar a un aumento de V_s . De esta forma se puede hacer una lectura de una temperatura a través de la tensión obtenida.

Si observamos el esquema eléctrico anterior, podemos ver un inconveniente, y es que los conductores a y b, que van desde el punto de medida hasta el conexionado del puente, ofrecen una resistencia que puede llevar a mediciones erróneas en función de su longitud.

Por esta razón, existen lo que se llaman sondas de conexión a tres hilos, donde se busca compensar el efecto causado por dichos conductores, pero esto sólo afecta cuando el punto de medición se halla muy distanciado del puente de Wheatstone.

Clasificación y elección de la sonda

A continuación, se muestra una tabla con las características más importantes para los tres materiales más usuales en la fabricación de sondas termométricas.

Material	Platino	Níquel	Cobre
Coeficiente de temperatura	$392 \cdot 10^{-5} \Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$	$63 \cdot 10^{-4} \Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$	$425 \cdot 10^{-4} \Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$
Resistividad	$9,38 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$	$6,38 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$	$1,56 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
Intervalo de utilización	-250 a 950°C	-150 a 300°C	-200 a 120°C
Resistencia de la sonda a 0°C	25, 100, 130 Ω	100 Ω	10 Ω
Precisión	0,01°C	0,5°C	0,1°C

Tabla 8 - Sonda termométrica según material

Si nos fijamos en el intervalo de utilización, podemos ver que la que más se adecúa a nuestras necesidades es la de cobre, ya que el agua no puede estar a más de 100°C en estado líquido y no nos interesa tal dato.

No obstante, el uso de dichas sondas no es tan habitual, siendo las de platino las más habituales en la industria, ofreciendo buenas mediciones para el propósito que se necesita.

En este caso, el método de elección se basa en escoger un elemento estándar, que cumpla con unos requerimientos dimensionales concretos como es la longitud de la varilla de medición, ya que se necesita que llegue al punto de aspiración de la bomba, que tenga conexión a dos hilos, y que la temperatura de lectura no sea exagerada, ya que incrementaría el precio por una característica innecesaria. Por este motivo se escoge una PT100.



Figura 45 – Sonda termométrica con PT100

CONTROL DE NIVEL DE AGUA EN EL DEPÓSITO INFERIOR

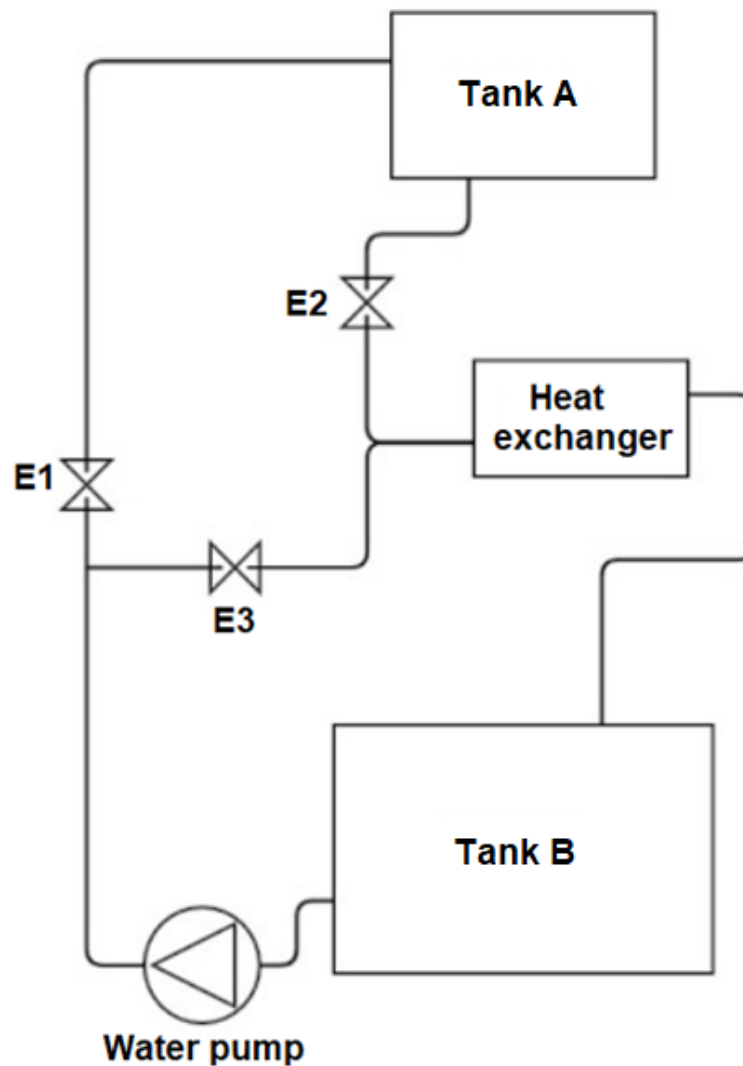
Partiendo de lo descrito en el apartado “3.2.6.2 Control del proceso de llenado”, sobre los tipos de sensores para el control de nivel de fluido, queremos evitar que la bomba de impulsión de agua pueda trabajar en vacío.

Por este motivo se opta por instalar otro interruptor de nivel como el del depósito superior pero esta vez en la parte baja del depósito inferior. De este modo, se asegura que siempre habrá la cantidad de agua suficiente antes de empezar el ensayo.

3.2.6.4. CONTROL DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Además de los elementos descritos, falta mencionar las electroválvulas del sistema hidráulico.

Estas electroválvulas son las encargadas de abrir y cerrar el paso al agua según la información de los sensores y en el punto en el que nos encontremos:



Esquema 7 - Circuito hidráulico ensayo

En la siguiente tabla se detalla el juego de válvulas que se debe dar en cada fase, siendo el estado activado que la válvula recibe tensión y por lo tanto permite el paso de agua.

Proceso	Elemento	Estado
Calentamiento	E1	NO ACTIVADA
	E2	NO ACTIVADA
	E3	NO ACTIVADA
Choque térmico - llenado	E1	ACTIVADA
	E2	NO ACTIVADA
	E3	NO ACTIVADA
Inmersión	E1	NO ACTIVADA
	E2	NO ACTIVADA
	E3	NO ACTIVADA
Vaciado	E1	NO ACTIVADA
	E2	ACTIVADA
	E3	NO ACTIVADA
Recirculación	E1	NO ACTIVADA
	E2	NO ACTIVADA
	E3	ACTIVADA

Tabla 9 – Activación de electroválvulas por fases

Como se observa, en la tabla anterior, el circuito hidráulico se puede dividir en cinco procesos. De los cuales, el calentamiento y la inmersión no requieren la activación de ninguna electroválvula.

En el caso del choque térmico – llenado, va directamente ligado con la recirculación, ya que si el agua no tiene la temperatura adecuada el proceso de recirculación se mantiene activo hasta que la sonda de temperatura confirme la temperatura adecuada del agua. Una vez confirmada la temperatura, se activaría el proceso de choque térmico-llenado.

En proceso de vaciado viene pilotado por la condición del tiempo, es decir, si no han pasado sesenta segundos desde que las sondas están sumergidas, la electroválvula 2 [E2], no se abre.

En el caso de la recirculación, la electroválvula 3 [E3] es dependiente de la temperatura del agua en el tank B, si ésta no se encuentra a la temperatura de ensayo, la electroválvula 3 dejará pasar el fluido para que este se refrigere.

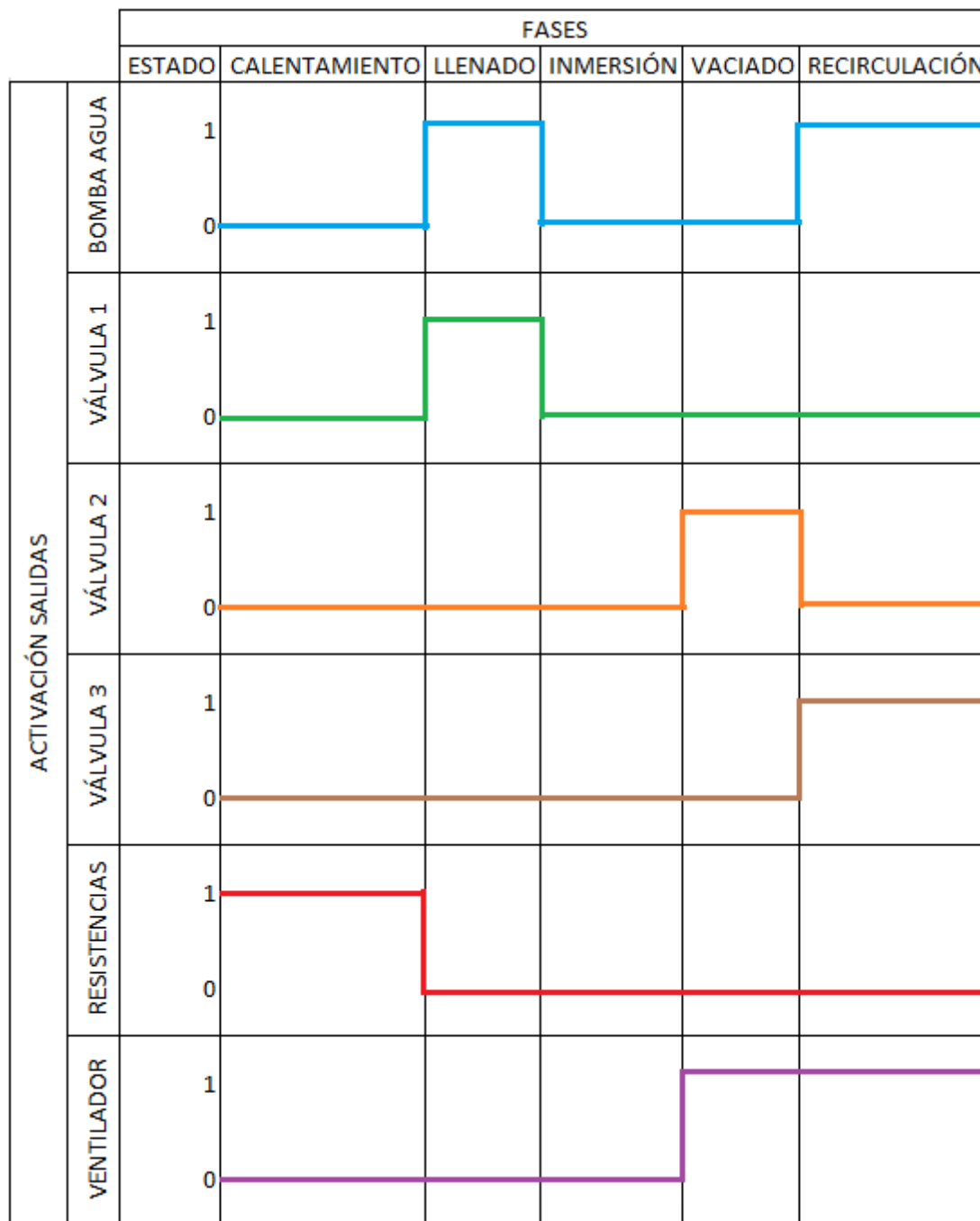
Las electroválvulas 2 y 3, han de poder trabajar a temperaturas de como máximo 100°C (temperatura máxima del agua a presión atmosférica), de modo que serán distintas a la electroválvula 1, ya que esta trabajara con el fluido a temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$).



Figura 46 - Electroválvula hidráulica

Es importante que en cada proceso se abran y cierren las electroválvulas correspondientes y estén coordinadas con los diferentes sensores y actuadores del sistema.

A continuación, se detalla mediante un diagrama de salidas el funcionamiento básico del sistema, indicando en qué momento se activa cada uno de los actuadores dependiendo de la fase en la que se halle.



Esquema 8 - Activación salidas de los actuadores en función de las fases

3.2.6.5. SEGURIDADES

Como se ha descrito en el apartado de la normativa para el diseño y comercialización de una cuasi máquina, se debe proteger la compuerta superior cuando el sistema aún esté caliente o durante el proceso.

Para solventar este problema, se necesita un dispositivo que no solo desconecte o interrumpa el funcionamiento de la máquina, como pueden ser los sistemas de seguridad más habituales, sino que además no permita el acceso y manipulación de las sondas lambda, ya que aún pueden estar calientes y ocasionar daños por quemaduras al usuario.

Por este motivo se escoge un dispositivo de bloqueo de seguridad.

Funcionamiento de un cierre de seguridad electrónico

El sistema consta de dos partes. Por un lado, está el sistema de cierre y por otro la hebilla de enclavamiento.

Normalmente el sistema de cierre se ancla a la parte fija de la máquina, mientras que la hebilla se ancla a la tapa, puerta, o elemento móvil que se desee bloquear.

El primer paso es insertar la hebilla dentro del cuerpo del sistema de cierre. Acto seguido y mediante una tensión de entrada, se alimenta una bobina alojada en el cuerpo del sistema de cierre, y este a su vez acciona un enclavamiento mecánico que bloquea la hebilla.

La ventaja de este tipo de dispositivos es que se pueden gobernar desde un PLC y programar las condiciones para su apertura o cierre, así como usarlo de condicionante para el funcionamiento del sistema.



Figura 47 - Sistema de bloqueo de Schmersal AZM 161-12/12

Para este caso se ha decidido emplear el modelo AZM 161-12/12 de Schmersal, anexo “21. Bloqueo seguridad Schmersal”. Dicho dispositivo se ha escogido por su geometría y reducido espacio, ya que el diseño realizado es un condicionante importante. Otro factor decisivo ha sido su resistencia a ser abierto cuando está bloqueado, que es de 2000N, y asegurará que no se pueda abrir el cierre evitando así daños a los usuarios.

3.2.6.6. CONTROLADOR DE PROCESOS Y PROGRAMACIÓN

Para controlar los procesos, además de los sensores anteriormente mencionados, se requiere de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual se encargará de gestionar las señales de entrada (sensores, interruptores, etc) y las de salida (actuadores) a través de su programación.



Figura 48 - PLC Siemens S7-1200

En este caso, la empresa en la que se está desarrollando el proyecto, UMPI3D, no es especialista en programación ni realización de cuadros eléctricos, por lo que subcontrata a una empresa externa, Vadilux Electricidad S.L., a la que se le proporcionarán todas las características del sistema diseñado y los elementos seleccionados, así como los procesos lógicos que debe desempeñar la máquina. De este modo, dicho proveedor podrá configurar un cuadro eléctrico y una programación acorde a las necesidades del proyecto.

En la programación, se incluye la visualización de los datos requeridos por el cliente. Esta visualización se realizará mediante conexión directa por red Ethernet entre PLC y ordenador. Para poder leer los datos requeridos, se introducirá una dirección IP (que le será proporcionada al cliente) en el buscador del ordenador y se abrirá un portal donde aparecerán todos los parámetros modificables y datos a tiempo real.

Se ha elegido este sistema principalmente porque es mucho más económico que instalar una pantalla TOUCH. Además de que una vez establecidos los ensayos a realizar, no es algo que esté en constante cambio, por lo que no necesita de una manipulación continua. El PC a su vez, otorga la sencillez y facilidad de poder leer o modificar parámetros cómodamente. De este modo, también se podrían extraer diferentes lecturas a un archivo si el cliente lo necesitara.

A continuación, se detalla la información que se traspasa al proveedor para la elaboración del armario eléctrico.

Tablas resumen para la configuración del cuadro eléctrico

Sensores de control

Sensor	Tipo	Nº de conexiones	Cantidad	Tipo de señal
Termopar resistencia helicoidal	K	2	6	Entrada analógica
Termopar sondas	J	2	3	Entrada analógica
Sonda temperatura	PT100	2	1	Entrada analógica
Interruptor nivel	Flotante	2	2	Entrada digital

Actuadores

Actuador	Tensión de funcionamiento	Nº de conexiones	Cantidad	Tipo de señal	Activación mediante
Resistencia helicoidal	230v y 500W	2	6	Salida	Relé estático
Electroválvulas	24v	2	3	Salida	PLC
Bomba de agua	230v x 46W	2	1	Salida	Relé
Ventiladores	24V	2	3	Salida	Relé
Bloqueo seguridad	24v	3	1	Salida	PLC

Resumen panel de control

Elemento	Tensión de funcionamiento	Nº de conexiones	Cantidad	Tipo de señal
Selector 3 posiciones	24V	3	1	Entrada digital
Interruptor marcha	24V	2	1	Entrada digital
Interruptor paro	24V	2	1	Entrada digital
Interruptor rearme	24V	2	1	Entrada digital
Paro de emergencia	24V	2	1	Entrada digital
Indicador luminoso	24V	2	2	Salida digital

Funcionamiento del sistema

En este apartado, se describirá detalladamente el funcionamiento de la máquina desde que se pone en marcha hasta que termina el ensayo completo, acompañado de un diagrama de flujo y de un diagrama de fases para que el proveedor pueda realizar la programación.

Primeramente, se deberá encender la máquina, levantar la tapa superior e instalar los componentes a ensayar.

Tras el cierre de la tapa y su comprobación mediante el módulo de cierre de seguridad, se debe pulsar el botón de rearme y seguidamente el de marcha. Esto inicia la fase de calentamiento de las sondas lambda. A su misma vez, se comprueba la temperatura del agua en el depósito inferior mediante el sensor de temperatura, y si ésta, es superior a la temperatura ambiente, se enciende la bomba para hacer recircular el agua hasta bajar su temperatura y hacerla apta para el choque térmico.

Una vez los termopares de control de temperatura de las sondas hayan alcanzado la temperatura objetivo, y la temperatura del agua en el depósito inferior sea correcta, se inicia la fase de aspersion y llenado del depósito superior.

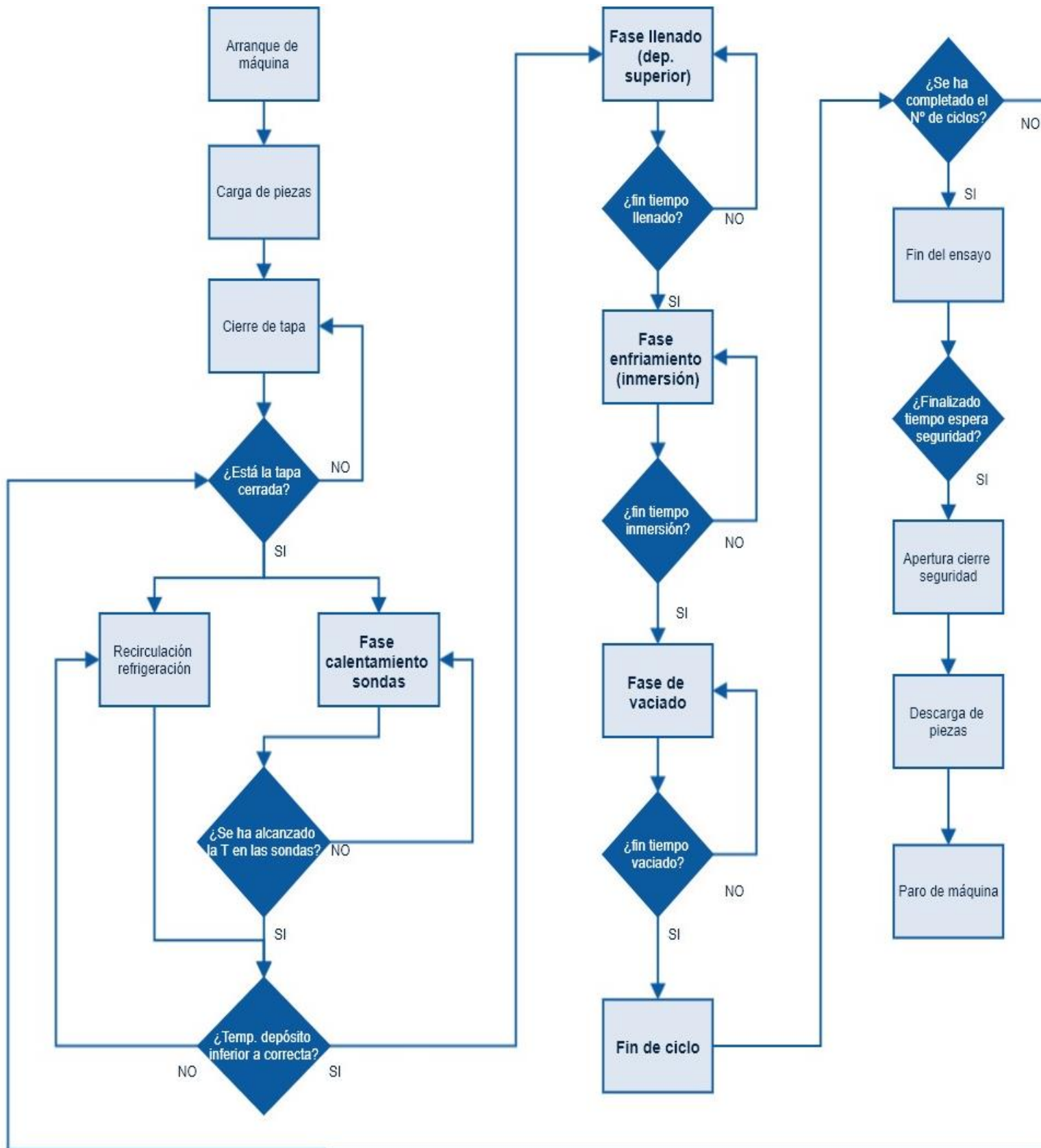
Cuando el interruptor de nivel de agua del depósito superior se active y dé señal, se iniciará un temporizador de cuenta atrás, que determinará el tiempo de la duración de la etapa de inmersión.

Transcurrido el tiempo de inmersión, se iniciará la fase de vaciado, donde el agua del depósito superior será evacuada y transportada al depósito inferior pasando por el refrigerador.

Este proceso sumará un ciclo al contador de ciclos y el proceso volverá a comenzar hasta que se alcance el número objetivo de ciclos. En ese caso se dará por terminado el ensayo.

Acto seguido se controlará la temperatura de los termopares tanto del control de temperatura de las sondas lambda como de las resistencias, y cuando se alcance la temperatura ambiente en dichos puntos, se habilitará la apertura de la tapa desbloqueando el módulo de cierre de seguridad y permitiendo así la descarga de las sondas lambda para su verificación.

Finalmente, resumimos el proceso en el siguiente diagrama para que conozca los condicionantes que provocan los cambios de fase y los parámetros a controlar.



Esquema 9 – Diagrama de fases

3.2.7. DISEÑO DE SUBCONJUNTOS

Una vez definidos los sistemas de calentamiento, refrigeración, y los elementos de control que se desea que tenga el banco de ensayo, se procede a diseñar los elementos que constituirán el banco de ensayo dividiéndolos por subconjuntos.

3.2.7.1. ESTRUCTURA

El principal elemento del conjunto es la bancada, este es el encargado de sostener y dar forma a la máquina. En ella, se sujetan todos los elementos que componen la máquina del ensayo.

Ha sido diseñada para tener las menores dimensiones posibles y que a la vez sea fácil y cómoda de manipular. Para su montaje se ha escogido perfil de aluminio ITEM de 40x40 por los siguientes motivos:

- No se oxida.
- Bajo peso y alta resistencia mecánica.
- Es un estándar en la industria, lo que facilita los recambios y reparaciones.
- Amplio mercado de accesorios y soluciones compatibles.
- Su ensamblaje no requiere de técnicas avanzadas como por ejemplo la soldadura.

Método de unión

Dado que la estructura únicamente hace de soporte y no recibe esfuerzos extras más allá del peso de los componentes (62,8Kg teóricos según el diseño CAD), no es necesario hacer uso de refuerzos ni escuadras extra, más que la propia unión con los elementos propios de ITEM.

Dicha unión consiste en realizar un agujero "a" en un perfil, y roscar el agujero del perfil "b" a M8. Después se debe fijar el accesorio mediante un tornillo allen M8. Para finalizar solo se debe deslizar un perfil en otro y terminar de fijar el accesorio con una llave allen a través del agujero "a"

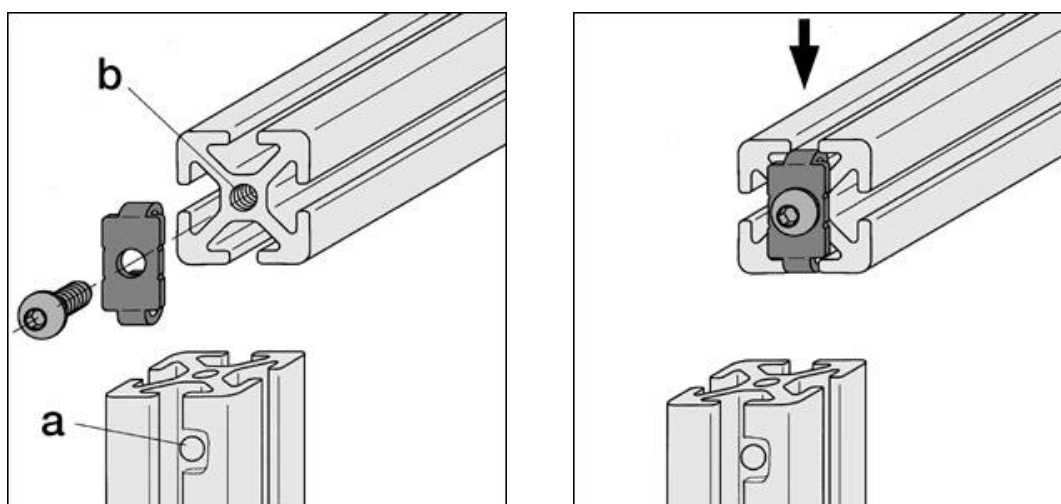


Figura 49 – Esquema de ensamblaje de uniones ITEM para estructura



Figura 50 – Estructura con ruedas

3.2.7.2. DEPÓSITO SUPERIOR

Partiendo del diseño base que se definió en el apartado “3.2.1.3 *Planteamiento del sistema*” y “3.2.1.4 *Aplicación técnica*”, se procede a detallar el resto de aspectos importantes relativos al diseño.

Material escogido para el sistema de calentamiento

El material a elegir debe tener los siguientes requisitos:

- Buena resistencia a la corrosión debido al contacto con agua.
- Debe permitir ser soldado para realizar la unión de casquillos y depósito
- Debe aguantar altas temperaturas
- La fabricación de piezas en dicho material no debe ser dificultosa.

Por estas razones se ha elegido el acero inoxidable (AISI304) como material de construcción para el sistema de calentamiento y el resto de piezas que estén en condiciones similares de trabajo y requerimientos.

Depósito superior

El diseño del depósito superior, ha sido basado en los requisitos del cliente y en las necesidades del proceso.

Primeramente, se ha tenido cuenta las dimensiones de la sonda, ya que uno de los requisitos es poder inundarlas. De modo que, el depósito ha de tener mayor altura que estas. También ha de poder alojar seis sondas y ha de contener un volumen de agua de 6 litros.

Una de los aspectos importantes en el diseño del tanque es la capacidad de poder desaguar el fluido por sí solo, de modo que se ha aplicado una pendiente de dos grados en la base para que el fluido decante y circule hacia el intercambiador.

Por otro lado, se ha tenido en cuenta los diferentes sensores que ha de incorporar y se han realizado alojamientos para su fácil instalación. Además, se ha dotado de un sistema de desagüe hacia el depósito inferior en caso de que la bomba no parase de bombear, de este modo se cierra el circuito y se evitan fugas de agua.

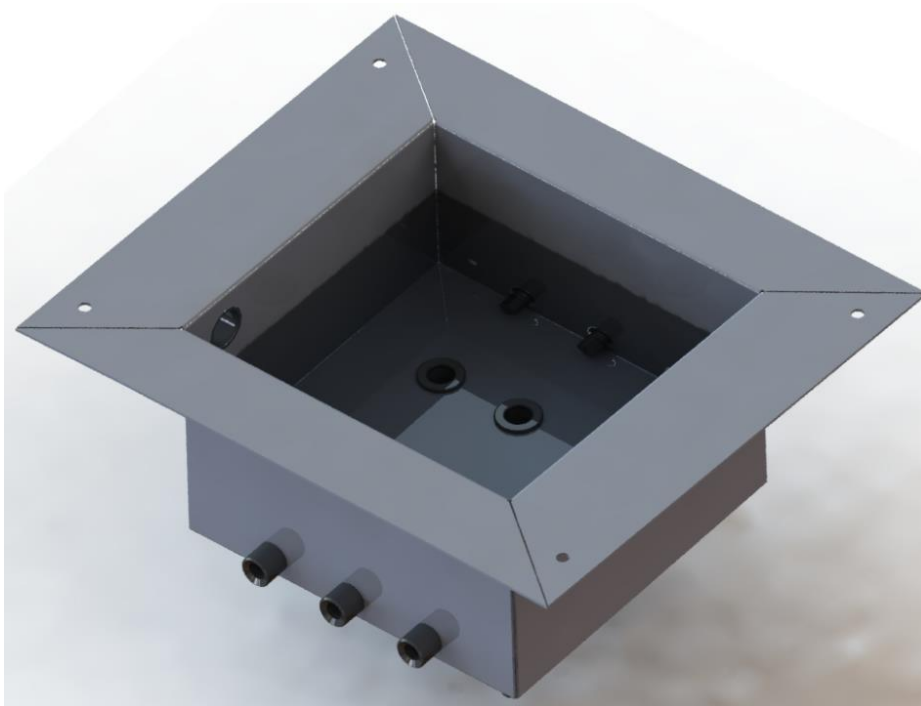


Figura 51 - Depósito superior con sistema de llenado y casquillos calentamiento

Punto de medición temperatura

Como se ha comentado en el apartado “3.2.6.1 Control del sistema de calentamiento”, debido a la imposibilidad de colocar termopares en las propias sondas, se ha decidido soldar tres alojamientos para termopares en el centro del depósito.

De esta forma, mediante una calibración inicial, se podrá establecer que cuando se haya alcanzado una temperatura determinada en dichos termopares, la temperatura en las sondas será la deseada, y al estar en el centro, servirá tanto para las sondas de M18 como para las de M12.

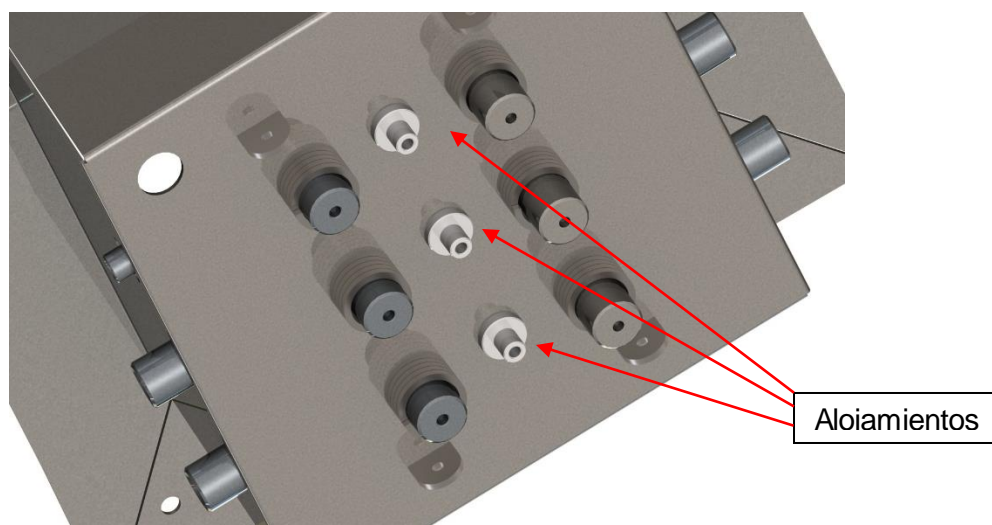


Figura 52 – Parte inferior del depósito superior. Alojamiento para termopares

Sistema de rociado

Uno de los objetivos del proyecto es simular el paso de un vehículo por una zona con agua, así que, para aportar realismo al ensayo, se han instalado seis boquillas que lanzaran un chorro de agua dirigido al cuerpo de la sonda. Para ello, se ha distribuido la canalización en seis tuberías, aportando el mismo caudal a cada una.

A pesar de que en un inicio el cliente no requiere un rociado individualizado, le aconsejamos esta modificación para tener un choque térmico más localizado en la zona crítica, es decir, en la soldadura del cuerpo.



Figura 53 - Sistema de rociado

Sujeciones para resistencias

Con el fin de aguantar las resistencias en su posición sin que caigan, se han diseñado unas sujeciones en acero inoxidable que van fijadas a cada casquillo mediante un tornillo M6.

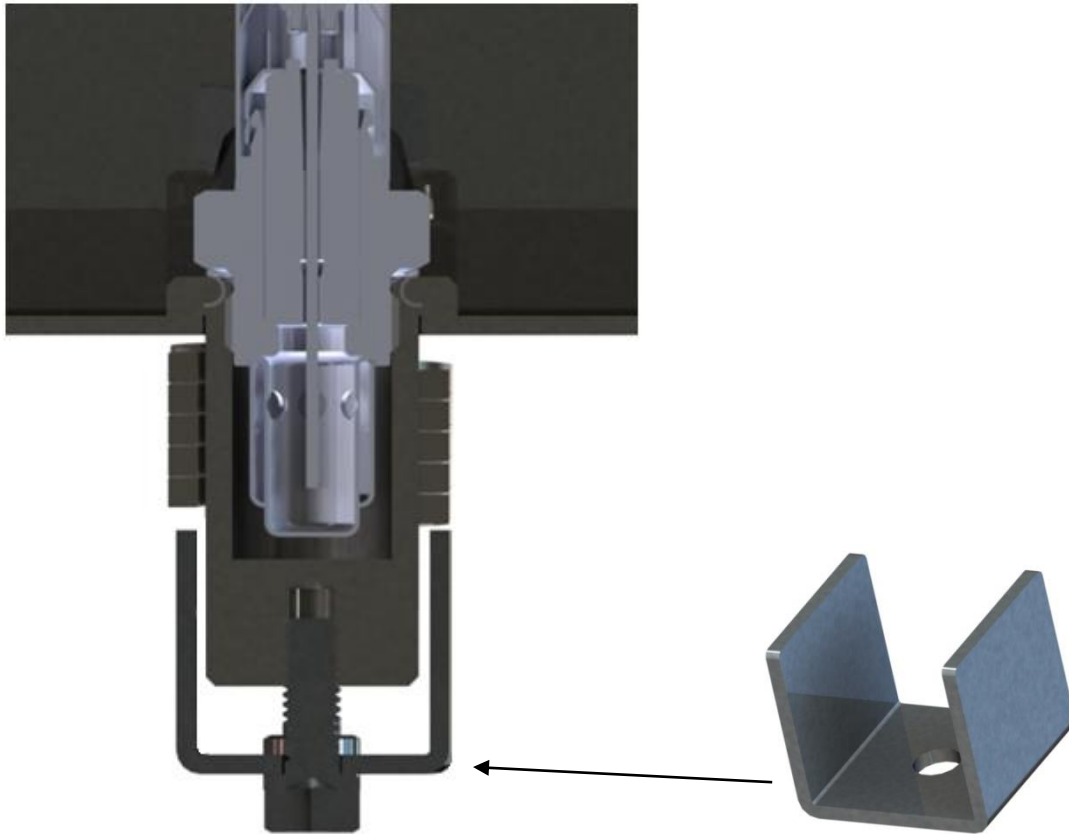


Figura 54 – Sujeción de resistencias

Protección contra temperatura

Para realizar una transferencia de calor optima desde las resistencias helicoidales al casquillo porta sonda lambda, se diseña un cerramiento que además sirve para proteger de quemaduras en caso de manipulación cuando aún están calientes. En este cerramiento se incluye un pictograma visible de riesgo por temperatura.



Figura 55 – Depósito superior con protector contra temperatura y pictograma



Figura 56 - Sección de conjunto depósito y protección contra quemaduras

3.2.7.3.COMPUERTA SUPERIOR

La compuerta superior es la encargada de proteger al usuario y los elementos de las inmediaciones de lo que sucede dentro del depósito superior y el sistema de calentamiento.

Ésta se ha diseñado teniendo en cuenta los efectos físicos que tienen lugar en el sistema de calentamiento y la interacción de los usuarios con la máquina.

Materiales y diseño

Para la fabricación de la estructura de la tapa se ha elegido de nuevo el acero inoxidable como material, debido a sus propiedades contra la oxidación, ya que dicha tapa estará constantemente en contacto con vapor y agua.

Por otro lado, uno de los problemas del vapor y la condensación es la capilaridad. Las gotas de agua condensadas en la tapa, tienen la capacidad de desplazarse hasta sus extremos y caer fuera de la máquina o llegar a zonas no deseadas.



Figura 57 - Ejemplo del efecto de la condensación en una botella

Por este motivo se ha diseñado un cerramiento con un marco metálico y un labio de goma de nitrilo butadieno (NBR), que cierra herméticamente el depósito superior, para que vapores y agua no puedan salir.



Figura 58 - Cierre entre labio de goma y pared interior del depósito superior

Este diseño permite además recuperar los vapores condensados, ya que el agua viajará por las paredes hasta volver a caer dentro del depósito.

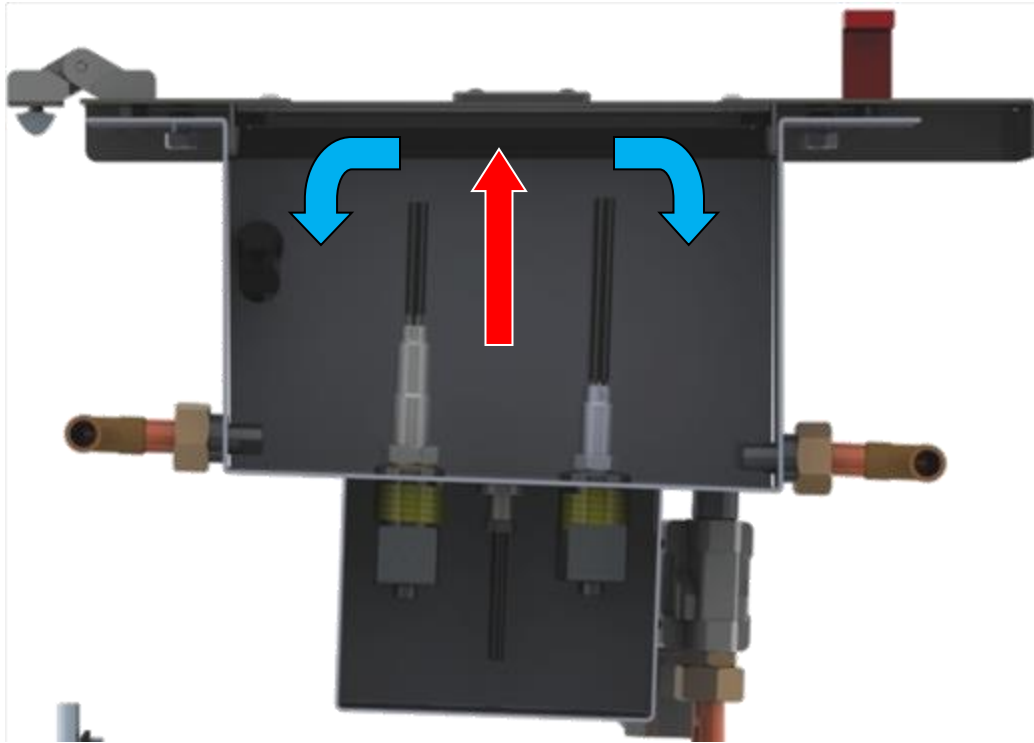


Figura 59 – Recirculación del agua condensada en del depósito superior

Además, en la parte central de se ha abierto una ventana, la cual va panelada con una placa de policarbonato y que permite ver qué sucede en el interior durante el ensayo.

Tanto la junta de NBR como el policarbonato pueden soportar las temperaturas siendo de un máximo de 120°C para el NBR y de 132°C para el Policarbonato, (anexo “17. *Policarbonato*” anexo “18. *Propiedades NBR*”) mientras que la máxima temperatura que puede alcanzar el agua es de 100°C en estado líquido.

Como se ha explicado anteriormente en el apartado “0 Depósito superior”, el sistema cuenta con un desagüe que comunica el depósito superior e inferior, por lo que aunque el sellado entre compuerta y depósito sea prácticamente hermético, no hay que preocuparse por la presión generada por el vapor, ya que el gas generado viajaría a través de dicho conducto, aliviando así la presión y condensándose a medida que el vapor se enfría.

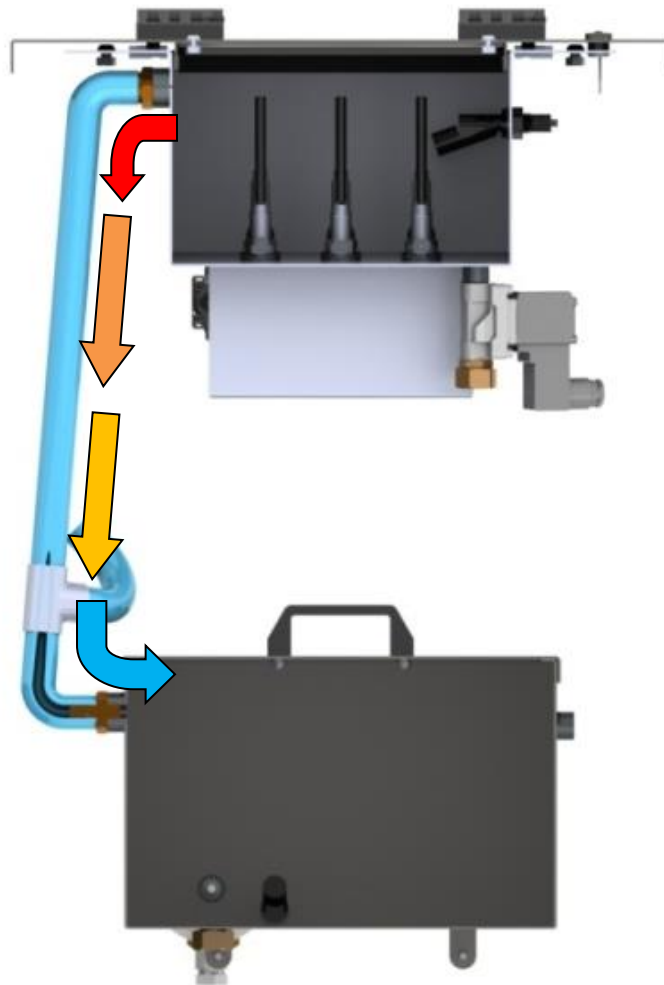


Figura 60 – Conexión mediante sumidero entre depósito superior e inferior

Apertura y cierre

La compuerta se ha dotado de un asa para ayudar a abrirla y cerrarla y de bisagras de tecno-polímero las cuales permiten ajuste tanto en el eje X como en el Y, lo que permite un perfecto ajuste del labio de goma con la cara interior del depósito para asegurar un buen cierre. También cumplen con la resistencia necesaria para el peso de la compuerta.

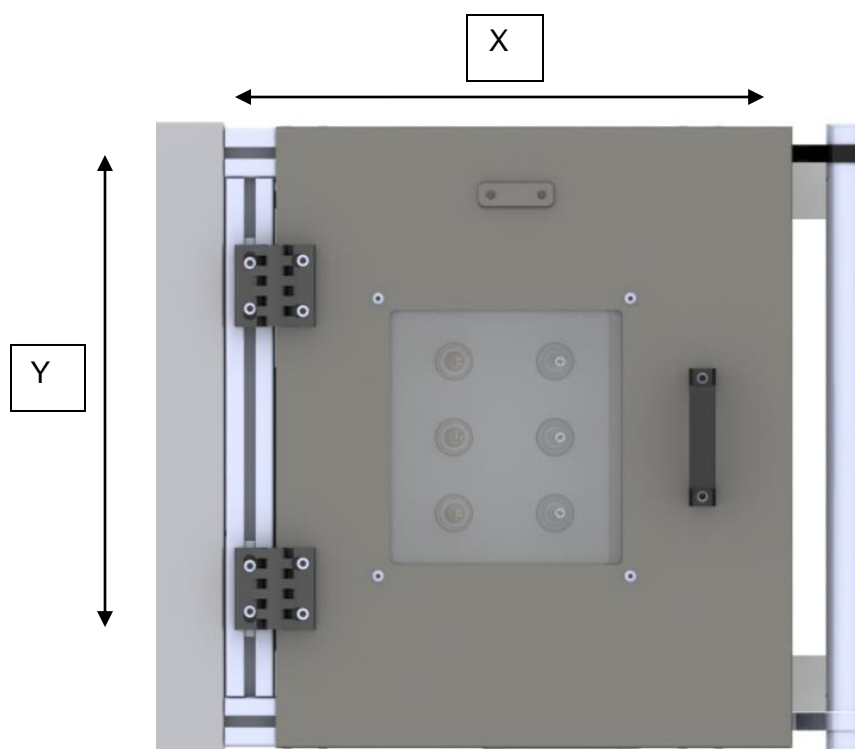
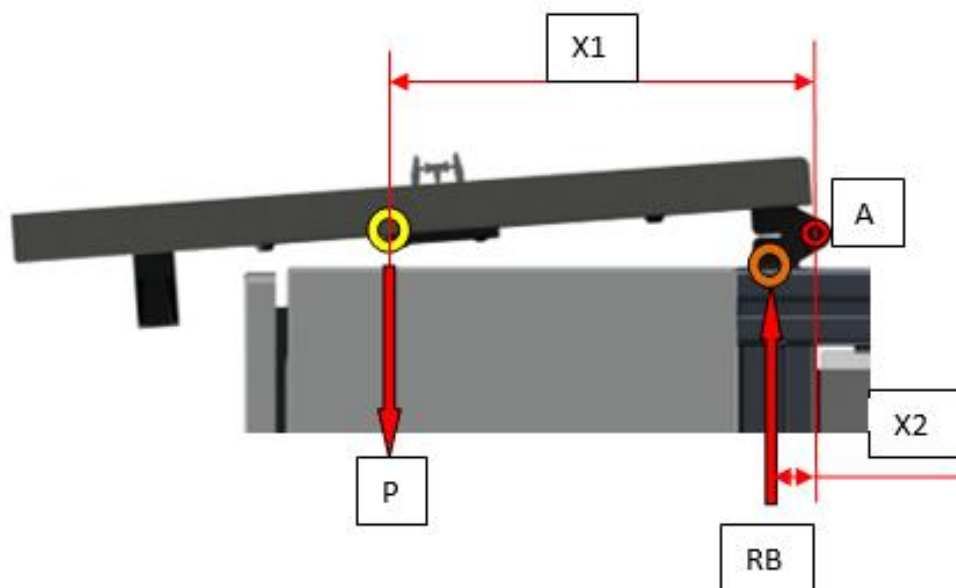


Figura 61 – Sistema de bisagras regulable en ambos ejes

Cálculo de la resistencia de la bisagra

La puerta tiene una masa de 3,902 Kilogramos, de modo que se ha buscado un sistema de bisagras que resista el esfuerzo generado.



Centro de masas	
Punto rotación bisagra A	
Punto reacción B debido a tracción	
P = Peso del conjunto compuerta	$3,902 \text{ Kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 38.23\text{N}$
X1 = Distancia de punto de rotación a centro de masa de compuerta	205mm
X2 = Distancia de punto de rotación a punto de tracción	20,8mm

Ahora, realizamos sumatorio de momentos desde el punto A para conocer la fuerza de RB.

$$P \cdot X1 - RB \cdot X2 = 0 \rightarrow P \cdot X1 = RB \cdot X2$$

$$RB = \frac{P \cdot X1}{X2} = \frac{38,23 \cdot 0,205}{0,0208} \rightarrow RB = 376.7N$$

Como tenemos dos bisagras, la fuerza de reacción originada por la compuerta se divide en dos, por lo que queda una fuerza de reacción total (RT) resultante de:

$$RT = \frac{376.7}{2} = 188,4N$$

Por lo que si nos fijamos en las especificaciones técnicas de la bisagra para la resistencia al esfuerzo radial se cumplen ya que $188,4N < 490N$ que es el límite de carga.

Protección contra quemaduras

Para proteger al usuario de posibles quemaduras tras finalizar el ensayo y querer descargar las muestras, se ha añadido un elemento de bloqueo electrónico. Los detalles sobre su funcionamiento están especificados en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Seguridades.

Dicho elemento de bloqueo se halla instalado en un lateral del depósito superior, pero la hebilla que permite el enclavamiento se ha instalado en la compuerta superior.

Para integrar el enclavamiento y que quede de forma que no se pueda manipular desde el exterior, se han colocado unos tornillos avellanados que sujetan el enclavamiento desde dentro y que quedan roscados en una chapita de acero inoxidable situada en el exterior. Lo que hace que el desenroscado de los tornillos sea imposible desde fuera. Dichos tornillos van tapados con unos tapones de plástico para un acabado más estético.



Figura 62 – Vista inferior de compuerta superior

3.2.7.4. DEPÓSITO INFERIOR

Este depósito es el encargado de almacenar el agua necesaria para realizar el ensayo, de modo que se ha añadido un sistema de fácil llenado y un visor que indicará el nivel de agua que contiene. Además, se añaden anclajes para poder fijarlo en la estructura.

Como este depósito estará constantemente en contacto con agua es fabricado en acero inoxidable (AISI 304).



Figura 63 - Depósito inferior

Capacidad

El volumen escogido para el almacenaje ha sido de 14 litros.

La idea es la de tener el doble de capacidad de la necesaria, es decir, seis litros para el depósito superior y seis litros para el depósito inferior, y un extra de 2 litros por el agua que pueda quedar en tuberías y bomba.

De esta forma mientras esté teniendo lugar el ensayo en sus fases de calentamiento e inmersión, el tanque inferior contará con una reserva que es la que irá refrigerando para que esté lista en el momento de iniciar el siguiente ciclo.

Disipación del calor

Para mejorar la capacidad de refrigeración, la entrada y salida de agua se han ubicado de forma que se genere un recorrido a lo largo del depósito, ayudando así a la disipación de calor acumulado en el agua durante la recirculación de la misma.

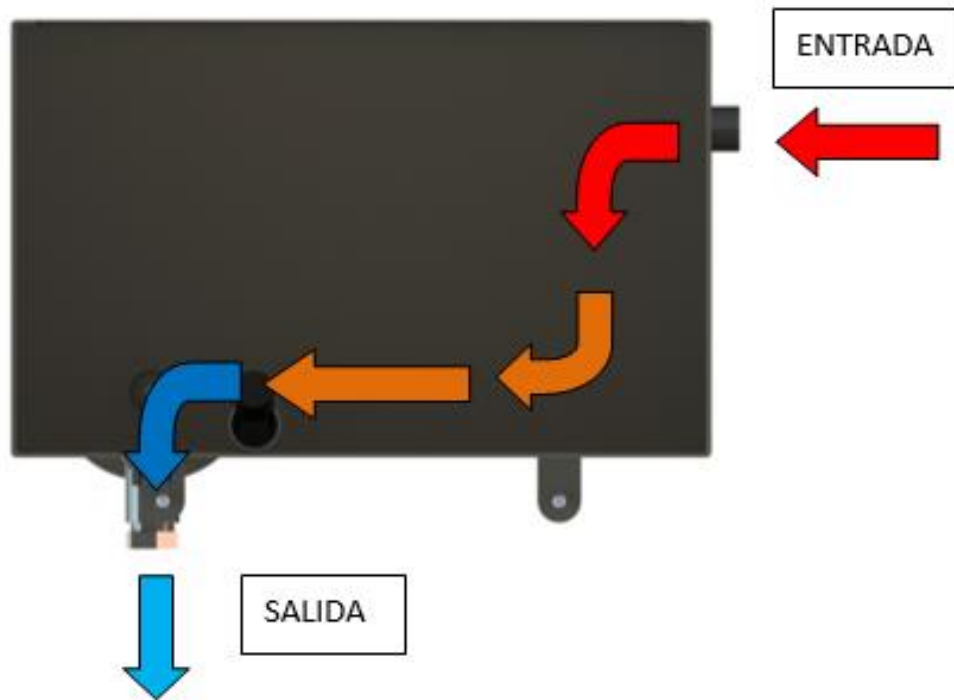


Figura 64 - Circulación del fluido caliente en depósito

Ubicación de los elementos de control

Para controlar el nivel de agua y su temperatura, se han instalado dos dispositivos de control:

El primero, se trata de un termopar PT100. (Más detalles en apartado de control “3.2.6.3 *Control del sistema de refrigeración*”) Éste se ha ubicado de forma que la punta del sensor quede encima de la salida del agua. De esta forma se podrá conocer la temperatura a la que el agua subirá y controlar si se cumple la condición de temperatura para realizar correctamente el choque térmico.

El segundo dispositivo, se trata de un interruptor de nivel. (Más detalles en apartado de control “3.2.6.2 *Control del proceso de llenado*”) Se halla unos milímetros por encima del fondo del depósito, para evitar el supuesto caso de que el depósito no disponga de la suficiente cantidad de fluido para realizar en ensayo, el sistema se detenga previniendo así daños a la bomba y test realizados incorrectamente.

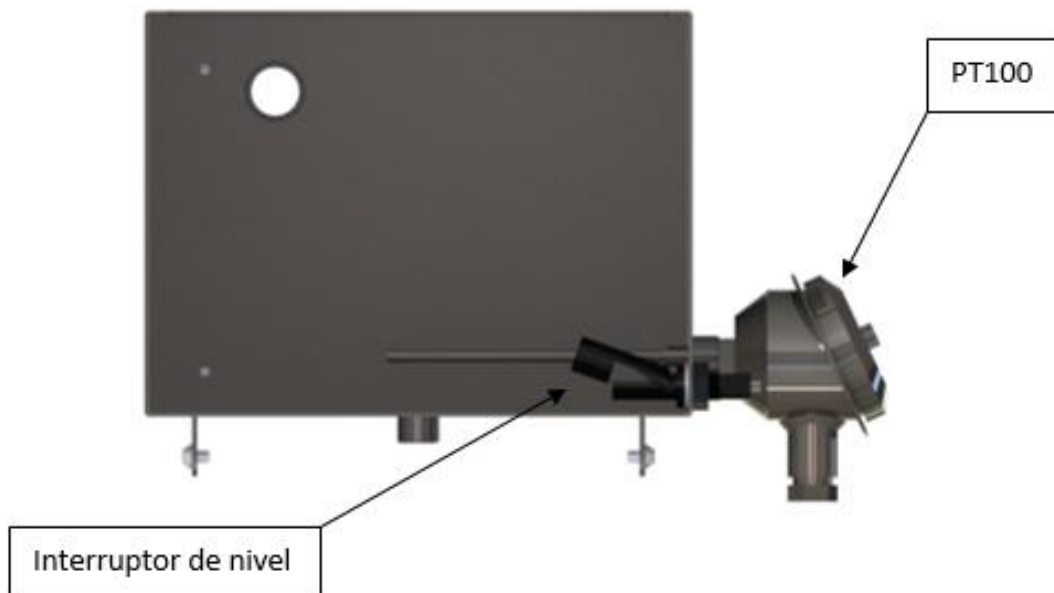


Figura 65 - Sección, con sonda temperatura y interruptor de nivel

Limpieza y mantenimiento

El depósito cuenta con una tapa superior extraíble. Dicha tapa sirve para evitar salpicaduras y además facilita las tareas de mantenimiento en el depósito, ya sea por reparación de componentes o por limpieza, ya que el espacio es amplio.



Figura 66 - Sección depósito con tapa

Fijación

Si fuese necesario retirar completamente el depósito, solo habría que desenroscar los racords de entrada y salida de agua, y quitar los cuatro tornillos situados en la parte inferior que lo sujetan al perfil de aluminio.

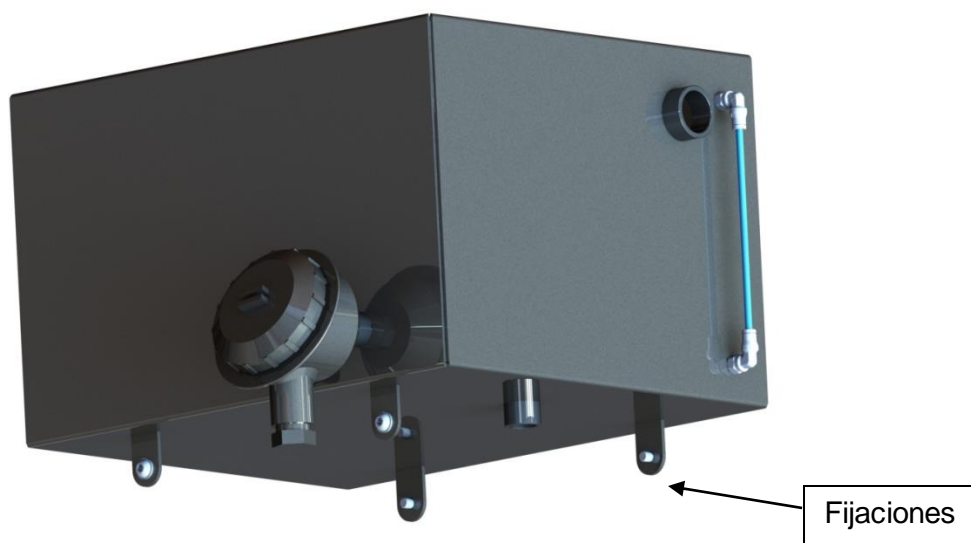


Figura 67 - Anclajes del depósito inferior

3.2.7.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración se ha diseñado pensando en obtener la mayor eficiencia posible.

Posición del radiador

El radiador de agua debe estar posicionado entre el depósito superior y el inferior, ya que lo que se pretende es que el agua previamente calentada, pase por éste y vaya disipando su energía calorífica acumulada, llegando así al depósito inferior a una temperatura menor.

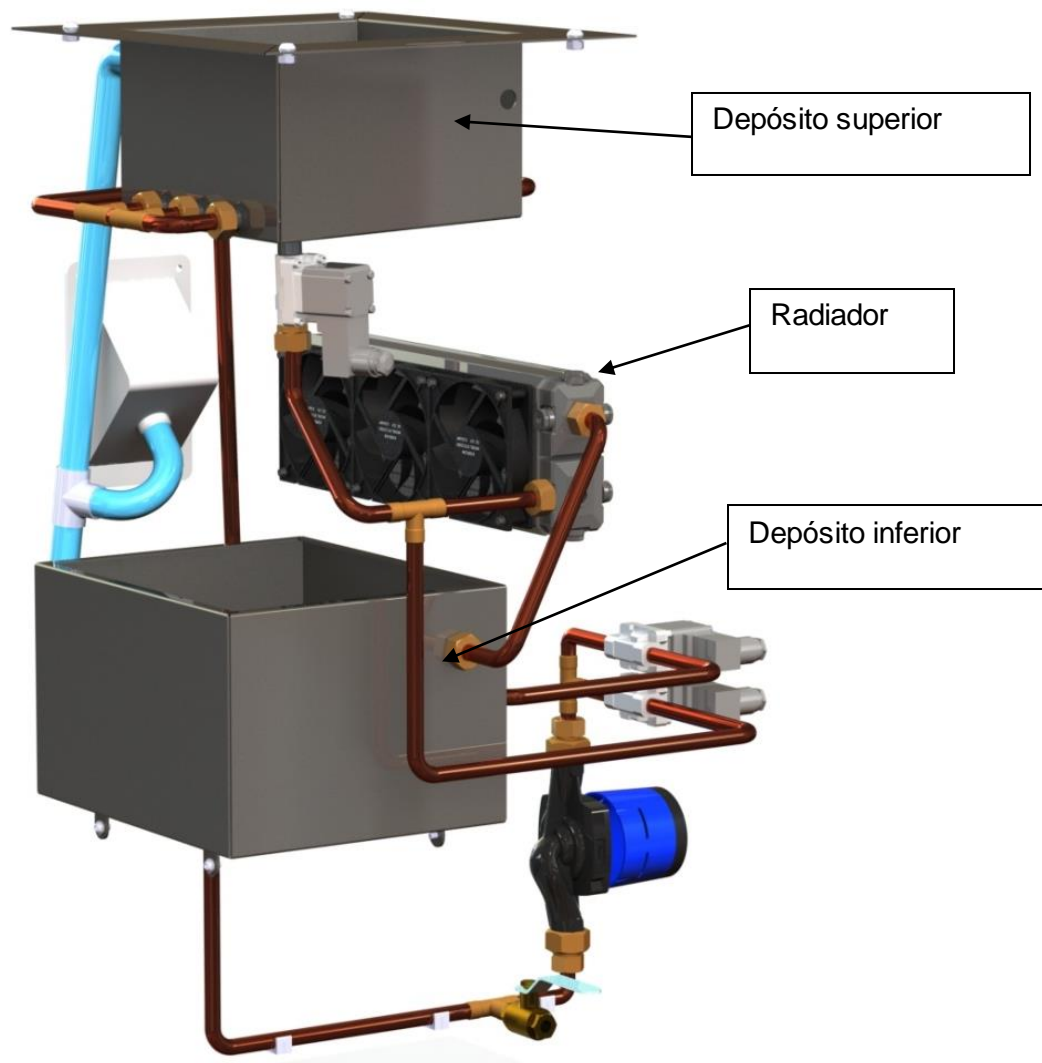


Figura 68 - Posición del radiador

Soporte

Para poder fijarlo en esa posición, se ha diseñado un soporte de chapa de acero plegada y galvanizada, para prevenir la corrosión.

Dicho soporte cuenta con un vaciado en el interior para que los ventiladores puedan generar un buen caudal de aire sin restricciones.



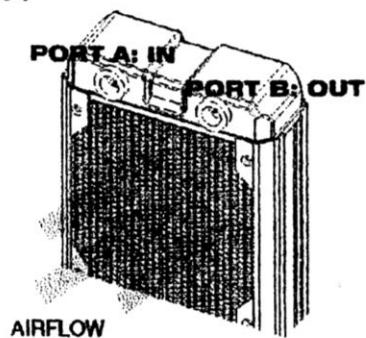
Figura 69 – Soporte de radiador

Sentido del flujo de agua y aire

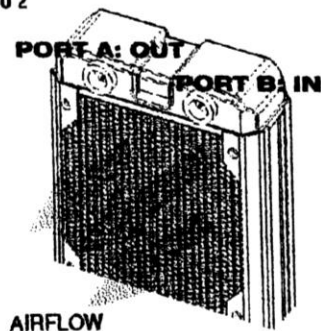
Además, para conseguir los mejores resultados, se ha seguido las indicaciones del fabricante, donde especifica que orientación deben llevar los ventiladores en función de que orificio utilicemos como entrada y cual como salida.

To maximize heat rejection, orient your inlet and outlet configuration according to airflow as indicated in the following scenarios.

SCENARIO 1



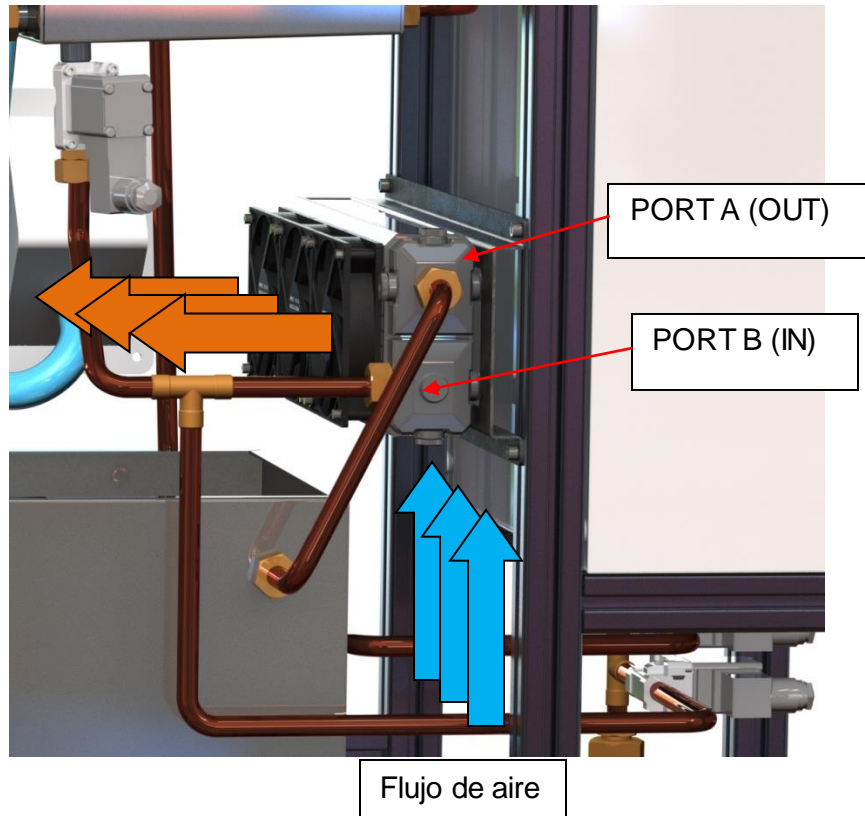
SCENARIO 2



Esquema 10 – Instrucciones para optimización del radiador

Si pensamos en que opción es mejor, el hecho de que el agua caliente entre por el puerto B y salga por el puerto A es más beneficiosa, ya que cuando se vacíe completamente el depósito superior y haya caído toda el agua caliente, el radiador siempre se quedará lleno, actuando como un pequeño depósito, donde el agua se seguirá refrigerando mientras el proceso se halle en otro ciclo, como podría ser el de calentamiento o el de inmersión.

Por lo tanto, según las indicaciones del fabricante se escoge la opción 2 para el flujo del aire.



3.2.7.6. CARENADO EXTERIOR

Con el fin de proteger tanto los elementos del banco de ensayo, como al usuario y evitar intrusiones o posibles manipulaciones, se ha dado cobertura al banco realizando un carenado externo.

Dicho carenado está compuesto por ocho paneles de policarbonato transparente de tres milímetros, los cuales gracias a sus propiedades otorgan una serie de ventajas al diseño.

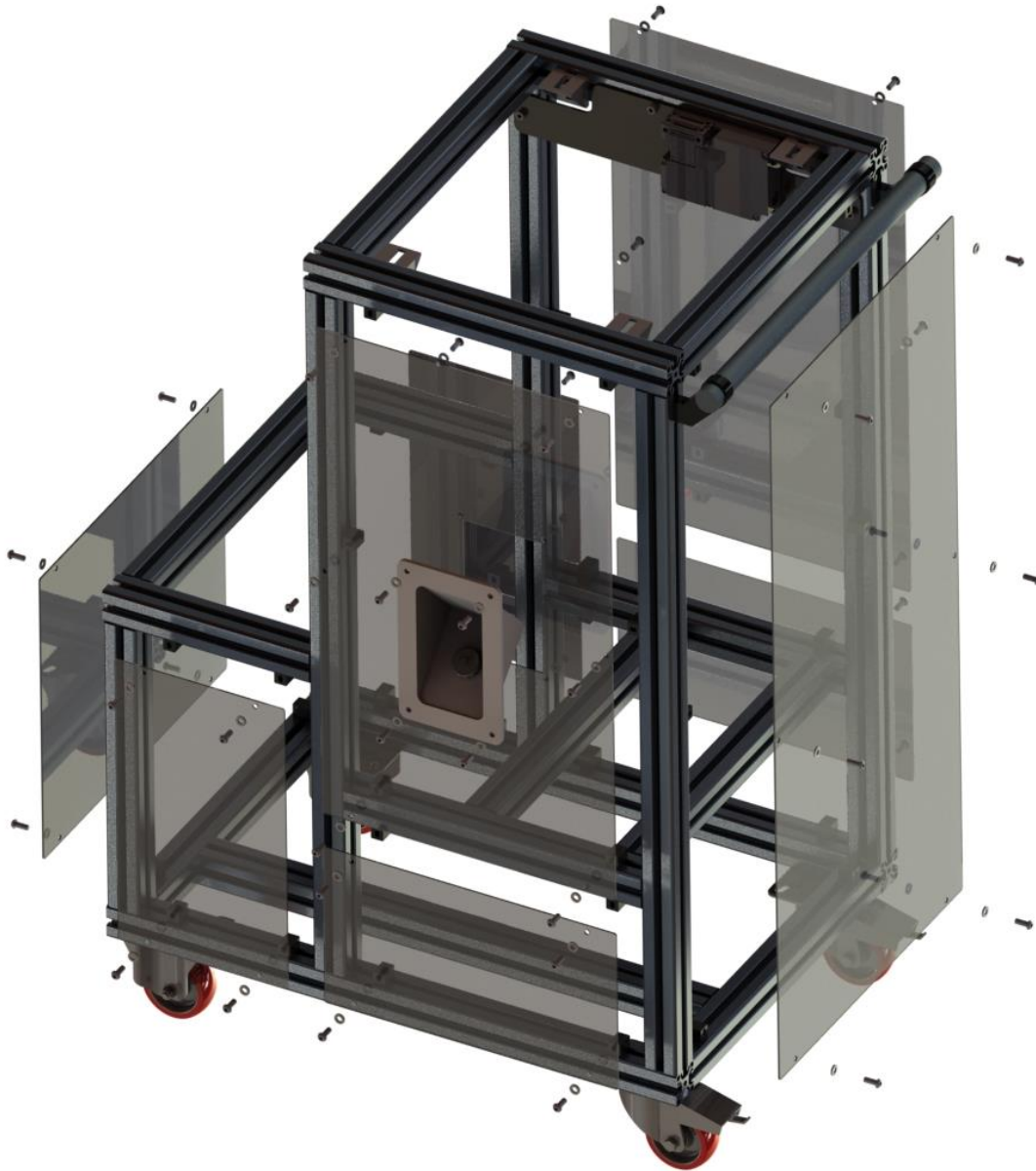


Figura 70 - Carenado exterior

Visibilidad

La principal ventaja que ofrece es su transparencia, con lo que permite tener un mayor control del funcionamiento del sistema.

Por ejemplo, se puede ver el nivel de agua en el depósito inferior, si las conexiones hidráulicas están en buen estado o si existe alguna fuga en el circuito, también es útil para ver si los ventiladores funcionan o si existe cualquier otra anomalía.

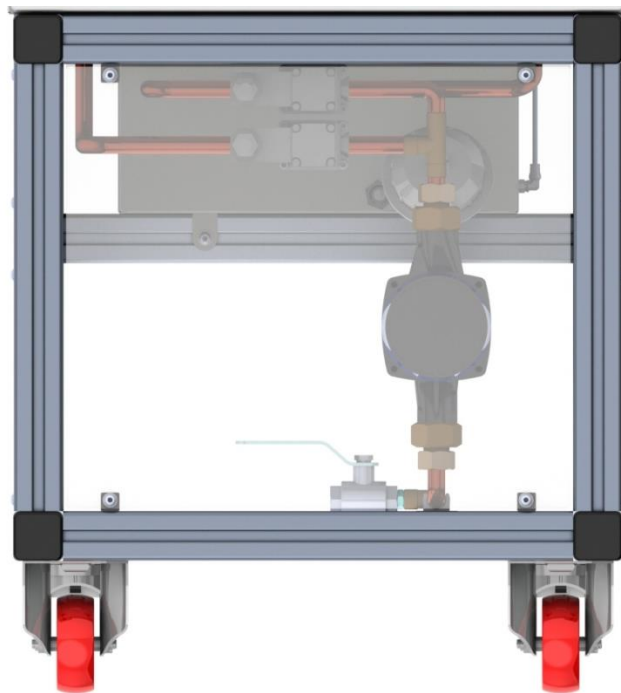


Figura 71 – Vista de bomba de agua desde el exterior

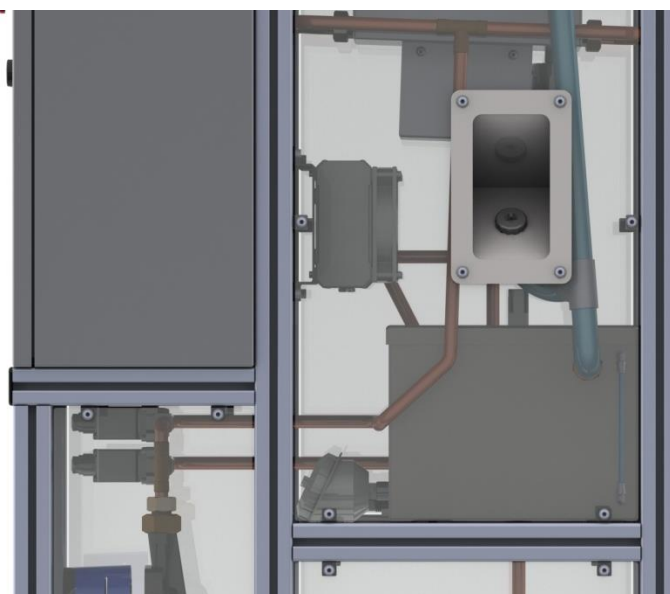


Figura 72 – Vista de nivel de agua y componentes internos desde el exterior

Montaje y mantenimiento de los paneles

Este diseño ofrece también ventajas para su montaje y mantenimiento. El sistema de anclaje es muy sencillo y versátil, ya que sólo hay que introducirlo por la ranura del carril y girarlo 90° a la altura que se desee para poder tener una fijación para el tornillo.

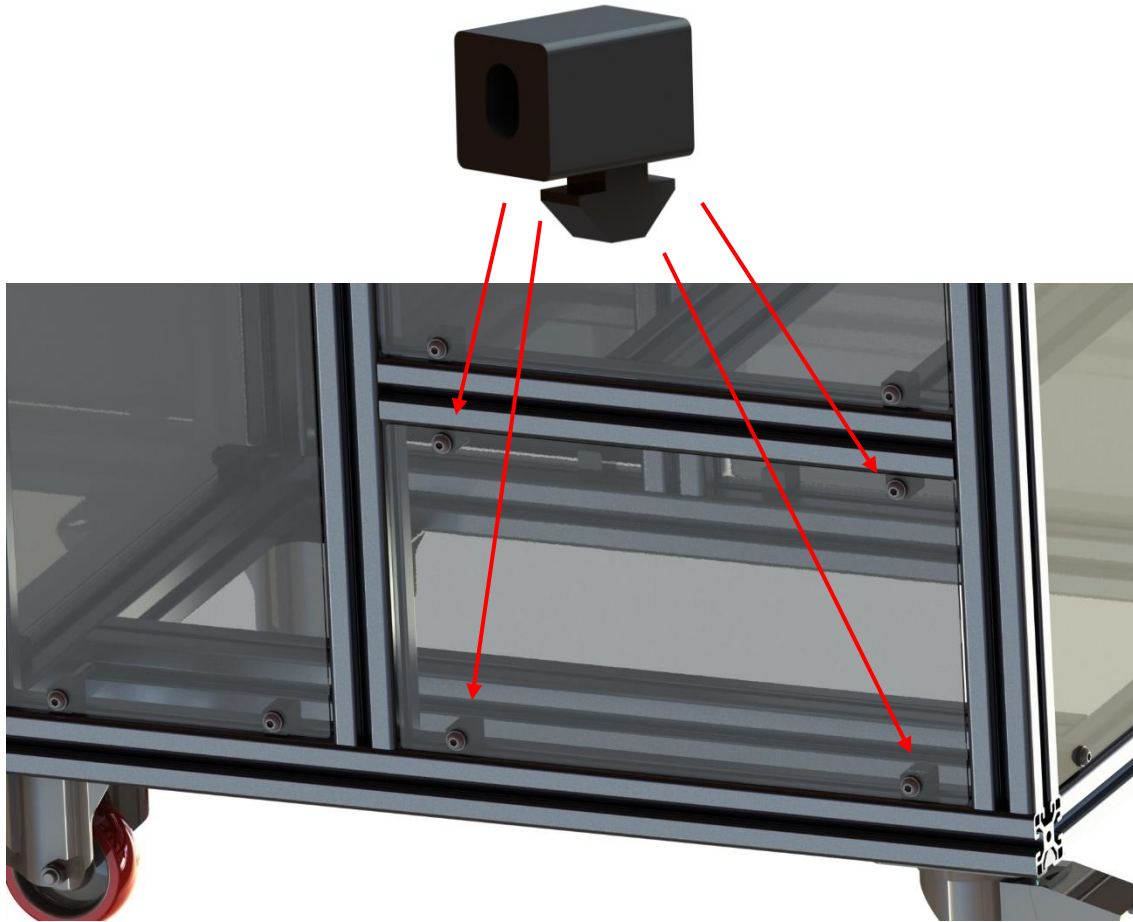


Figura 73 - Ejemplo de sistema de sujeción de paneles exteriores

Los paneles se fijan mediante tornillos Allen de cabeza redonda DIN 7380 para evitar que sobresalgan.

Además, debido a la baja densidad del policarbonato, tener que sacar los paneles para realizar tareas de mantenimiento no supone ningún esfuerzo físico, y en caso de rotura o daño es sencillo replicarlos.

3.2.7.7.ARMARIO ELÉCTRICO

Por las propias características del banco de ensayo, sus reducidas dimensiones y su fácil manipulación desde cualquiera de los lados, se ha instalado el panel de control con sus botones e indicadores luminosos en la propia puerta del armario eléctrico.

Esta simplificación se debe a que al tratarse de un banco de ensayo para laboratorio el cual realiza una función cíclica, no requiere de una manipulación ni de un control visual continuado, La información más importante que se necesita de él es saber si está en marcha, si ha terminado, o si ha habido algún problema, y su manipulación no pasa de pulsar tres botones antes de comenzar su funcionamiento.

A continuación, se detallan las funciones que se pueden encontrar en el panel de control:

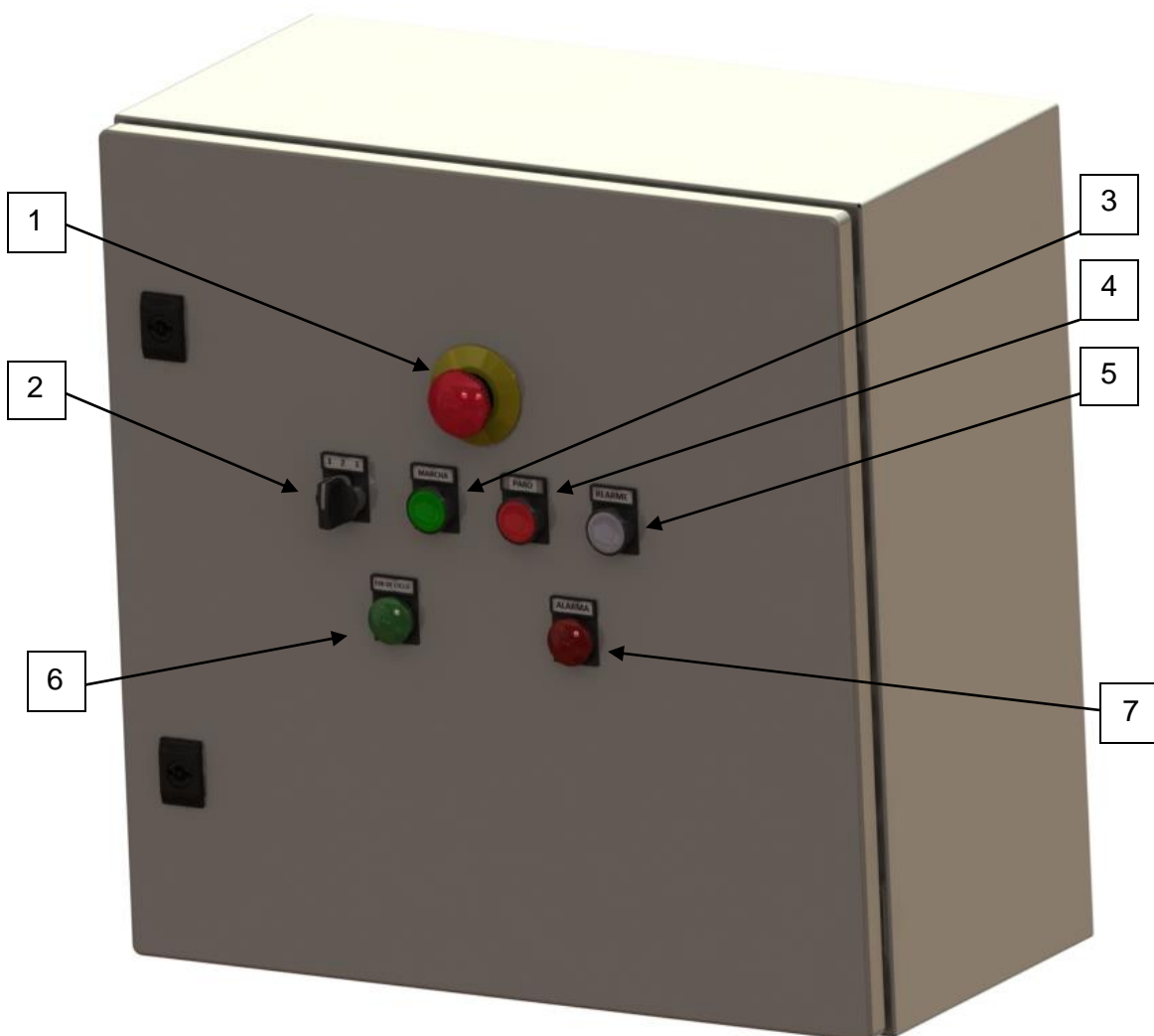


Figura 74 - Armario eléctrico

Paro de emergencia (1)

Aunque el banco de ensayo no cuenta con elementos ni mecanismos móviles, y que el mayor peligro que puede encontrar un usuario es el hecho de que el sistema de calentamiento aún esté caliente en el momento de descargar el sistema, (situación que se previene mediante el dispositivo de bloqueo electrónico), se debe instalar una seta de emergencia, ya que puede existir algún problema eléctrico o con la bomba de agua, y surja la necesidad de detener todo el sistema.

Selector de 3 posiciones con enclavamiento (2)

Sirve para indicar que programa se desea realizar

1 – Activación de zona de calentamiento de sondas M12x1,25

2 – Activación de zona de calentamiento de sondas M18x1,5

3 – Activación de zona de calentamiento de ambas sondas

Marcha (3)

Su función es la de iniciar el programa establecido, funcionará si no está la seta de emergencia enclavada y si se ha pulsado previamente el botón Rearme (5)

Paro (4)

Su función es la de pausar el sistema. Dejar de alimentar las resistencias, los ventiladores, las electroválvulas y parar la bomba de agua, pero todo ello sin reiniciar los ciclos ya realizados y con la posibilidad de reanudar al pulsar el botón Marcha (3)

Rearme (5)

Su función es la de restablecer el sistema llevándolo a su fase principal tras arrancar la máquina o tras una parada de emergencia, pero sin reiniciar los ciclos ya realizados.

Indicador luminoso Fin de Ciclo (6)

Cuando se enciende, indica que se han completado los ciclos definidos y que no ha habido ningún problema durante el ensayo.

Indicador luminoso Alarma (7)

Como su propio nombre indica, si se enciende es porque se ha producido algún error en el sistema, ya sea debido a un calentamiento incorrecto, a un defecto en bomba o cualquier otra anomalía controlada mediante programa.

3.2.7.8. DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPONENTES EN LA MÁQUINA

Para la distribución de los elementos se han tenido principalmente en cuenta, la separación de los equipos eléctricos con el equipo hidráulico. Protegiendo así, los componentes eléctricos frente a cualquier fuga de agua que pudiera suceder.



Figura 75 - Conjunto máquina choque térmico sondas lambda

Depósito superior y zona de carga

En la parte superior se ha ubicado el depósito superior, ya que para la carga y descarga de las sondas es la opción más cómoda, además, la gravedad ayuda a la evacuación del fluido en la fase del desaguado.

Radiador

El radiador se ha colocado entre el depósito superior e inferior para que el agua lo atraviese sin tener problemas de altura piezométrica.

Depósito inferior

Se ha situado en la parte baja de la máquina. De este modo, el centro de gravedad de la máquina se sitúa lo más próximo al suelo y ayuda a prevenir el volcamiento, ya que una vez lleno de agua tiene un peso aproximado de 22Kg.

Bomba de agua

En principio se deseaba colocar en la parte más baja del sistema, para que siempre estuviese cebada, pero el fabricante no lo recomienda debido a que todos los sedimentos e impurezas que por decantación quedarían en la zona más baja. Por este motivo se ha instalado entre la parte más baja y el depósito para, aun así, asegurar que estará cebada, y para purgar y limpiar el circuito, se instaló una válvula de bola en la parte más baja del sistema.

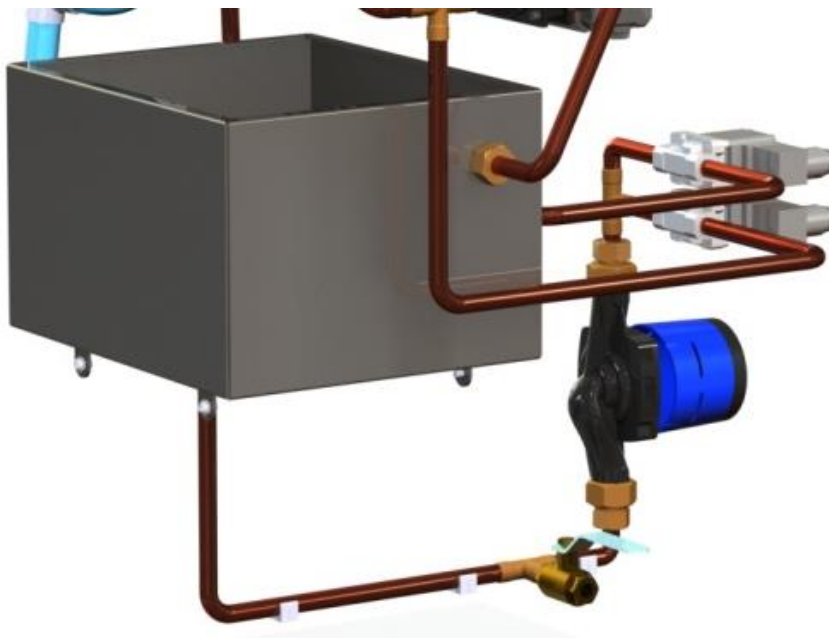


Figura 76 – Posición de la bomba de agua

3.2.8. ERGONOMÍA

El diseño del banco se ha realizado teniendo en cuenta la comodidad y la seguridad del usuario en las diferentes interacciones que pueden darse y que se citan a continuación.

3.2.8.1. MOVILIDAD

Para poder desplazar el conjunto casi máquina se han montado cuatro ruedas de poliuretano inyectado. En concreto dos ruedas fijas y dos pivotantes, las cuales permiten realizar giros en espacios reducidos debido a su pequeño radio de giro.

Las ruedas pivotantes cuentan también con freno de seguridad, el cual permite bloquear las ruedas una vez se ha definido la posición, eliminando así la posibilidad de un movimiento involuntario debido a pendientes en el terreno o a vibraciones propias o externas.

Dichos frenos se accionan pulsando con el pie, y se desbloquean del mismo modo.



Figura 77 - Rueda pivotante con freno

Para una mayor comodidad en el desplazamiento se ha añadido un asa que abarca el ancho de la máquina y que está ubicada en la parte frontal, donde también se hallan las ruedas pivotantes. De este modo se consigue un buen control de giro.

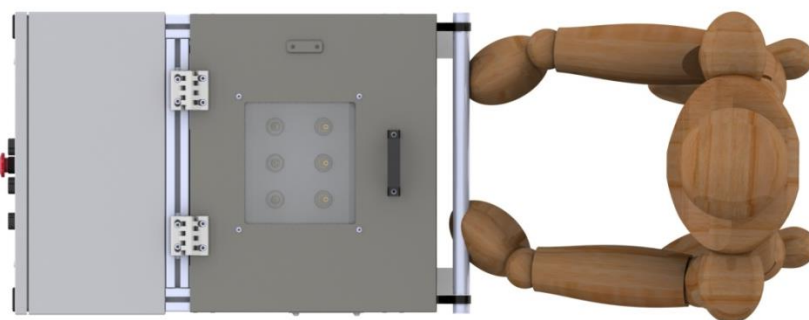


Figura 78 - Vista superior de máquina de ensayos

La altura del asa también se ha definido de forma que le sea cómodo al usuario, ésta debe estar situada al nivel de los codos o ligeramente más abajo según el documento “PUNTO COMPROBACIÓN 57” del ministerio de trabajo y asuntos sociales “*anexo 3. Altura puesto de trabajo*”.



Figura 79 - Vista lateral de máquina de ensayos con operario

Además, para asegurar que la máquina es segura para desplazarse, se ha realizado un cálculo de volcamiento inminente, aprovechando los cálculos de centro de masa otorgado por el programa de CAD Solidworks tras haber realizado todo el conjunto en 3D y haber asignado los materiales y densidades correspondientes a los componentes.

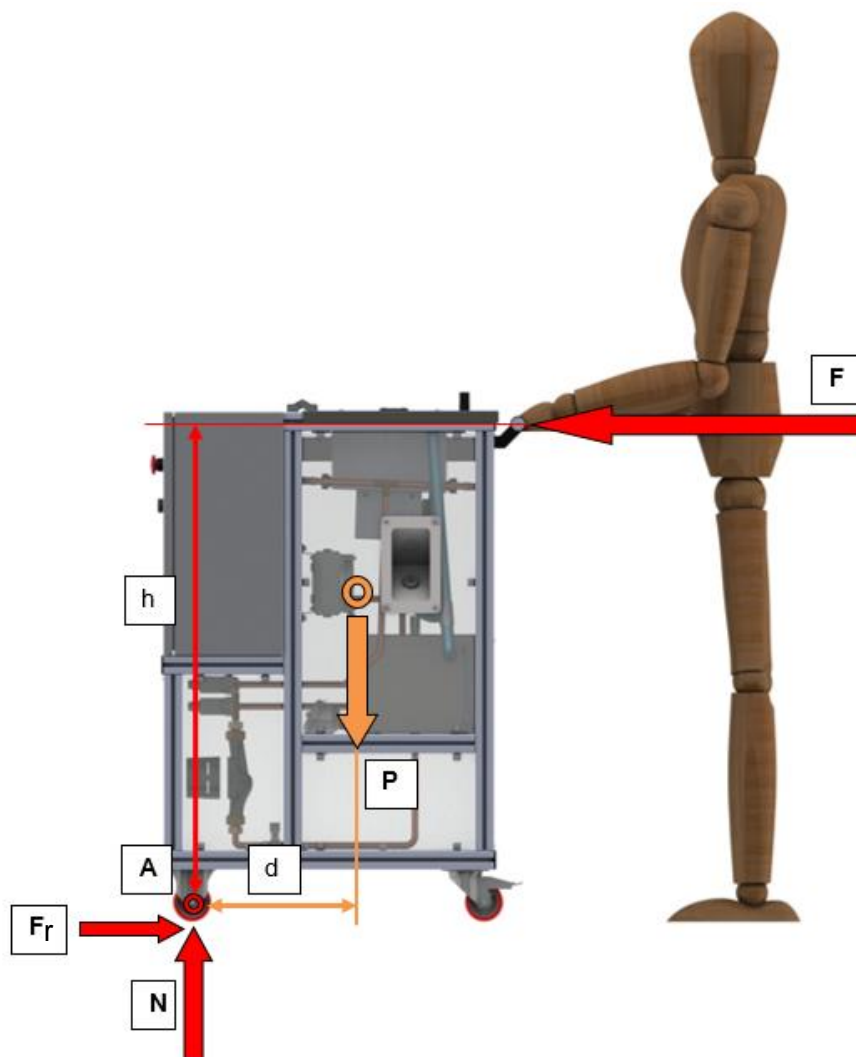
Uno de los problemas que podría darse durante el movimiento de la máquina es que ésta volcase. Por ello se supone lo que sería el peor de los casos, en el que un usuario se halla desplazando la máquina y ésta se detiene súbitamente debido a un obstáculo o un bloqueo de rueda.

Cálculo volcamiento inminente



Para saber si el valor de vuelque se halla dentro de un rango normal, estableceremos como límite la velocidad normal de una persona caminando, es decir, 5Km/h, a pesar de que siendo una máquina pesada y que irá llena de agua, se consideraría una velocidad poco adecuada.

Diagrama de cuerpo libre en el momento de la detención

Nota: Todo el peso se desplaza hacia adelante y se despegan del suelo las ruedas más cercanas al usuario, mientras que el único contacto se tiene en las ruedas delanteras (A).



Dónde:

Centro de masas 	F = Fuerza de empuje usuario
Punto rotación A 	P = Peso de la máquina
F = Fuerza de empuje usuario	h = Distancia de punto de rotación a punto de empuje = 950 mm
d = Distancia de punto de rotación a centro de masa = 369 mm	Masa de la máquina llena = 86.18Kg

Solución:

$$\sum MA = 0$$

$$F \cdot h - P \cdot d = 0$$

$$F \cdot h = P \cdot d$$

$$F = \frac{P \cdot d}{h} = m \cdot g \cdot \left(\frac{d}{h}\right)$$

$$F = \frac{P \cdot d}{h} = 86,18 \cdot 9,8 \cdot \left(\frac{0,369}{0,950}\right) = 328 \text{ N}$$

Ahora que conocemos la fuerza de empuje necesaria para que exista vuelco inminente, veremos a qué velocidad hay que ir para alcanzar dicha fuerza al detenernos.

Buscamos la desaceleración necesaria para que con esa fuerza existiese vuelco.

$$F = m \cdot a \qquad a = \frac{F}{m} = \frac{328}{86,18} = 3,80 \text{ m/s}^2$$

Se trata de un movimiento rectilíneo uniformemente desacelerado, donde se pasa de una cierta velocidad a estar parado en un tiempo determinado. Al tratarse de una desaceleración, la trataremos con el símbolo negativo.

Lo que, suponiendo un tiempo de detención de 0,5s, se traduce en una velocidad inicial de:

$$a = \frac{V_f - V_o}{t}$$

$$V_o = -(a \cdot t) + v_f = -(-3,80 \cdot 0,5) + 0 = 1,9 \text{ m/s}$$

Que traducido a Km/h:

$$V_o = \frac{1,9 \text{ m}}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1000 \text{ m}} = 1,9 \times 3,6 = 6,85 \text{ Km/h}$$

Por lo que la máquina sería apta para circular a una velocidad normal por las instalaciones de la empresa del cliente.

3.2.8.2. MANIPULACIÓN

El operario encargado de realizar el ensayo deberá colocar los sensores en sus alojamientos antes de iniciar el ensayo y desmontarlos una vez finalizado. Es por eso, que se ha tenido en cuenta la altura de trabajo para que éste no sufra lesiones. La altura de trabajo debe ser la más parecida a la de los codos del operario.



Figura 80 - Operario manipulando sondas en máquina

Para realizar las operaciones de montaje y desmontaje, el operario dispone de una herramienta específica para manipular sondas lambda. Esta herramienta tiene un vaso de tamaño específico para sondas lambda y cuenta con una abertura lateral para que los cables no entorpezcan el momento de apretarlas o aflojarlas. Además, esta llave dispone de una extensión de 25 centímetros para poder manipular las sondas perfectamente por encima del tanque superior.

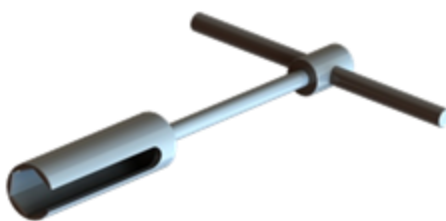


Figura 81 - Útil para sondas lambda



3.2.8.3. PUESTA EN MARCHA/PARO

Los botones de control de la máquina se encuentran en la puerta del cuadro eléctrico. Estos se encuentran visibles y accesibles para el usuario. Además, al colocarlos en el cuadro eléctrico se ahorra cableado y complejidad en esconder cables.

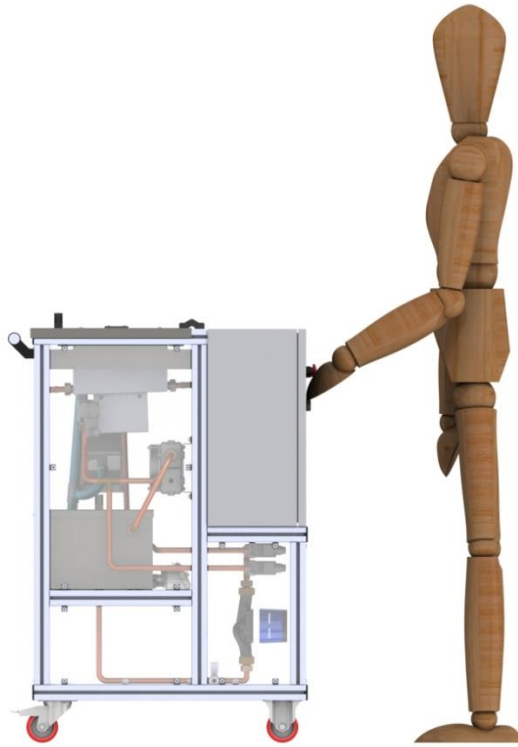


Figura 82 - Puesta en marcha de máquina

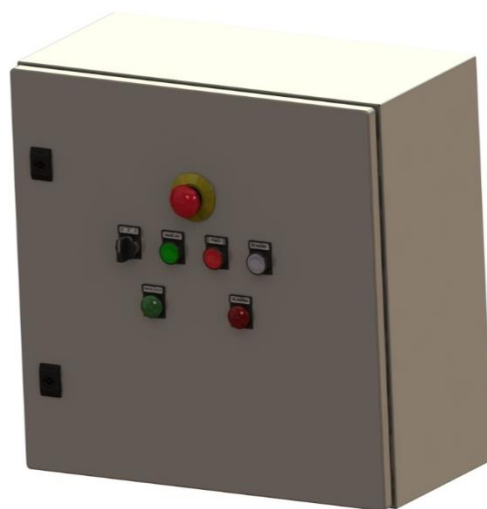


Figura 83 - Cuadro de mandos

3.2.8.4. LLENADO DE AGUA EN MÁQUINA

Para el rellenado de agua de la máquina, el usuario deberá insertar una manguera o embudo en el tapón de llenado y verter el agua. El tapón de llenado se ha colocado en un lateral para una fácil identificación y un fácil acceso.



Figura 84 - Llenado de agua en máquina

También se ha colocado el visualizador de nivel de agua en la misma cara que la de llenado, para poder ver la cantidad de agua disponible en el sistema, a través del panel de policarbonato transparente.

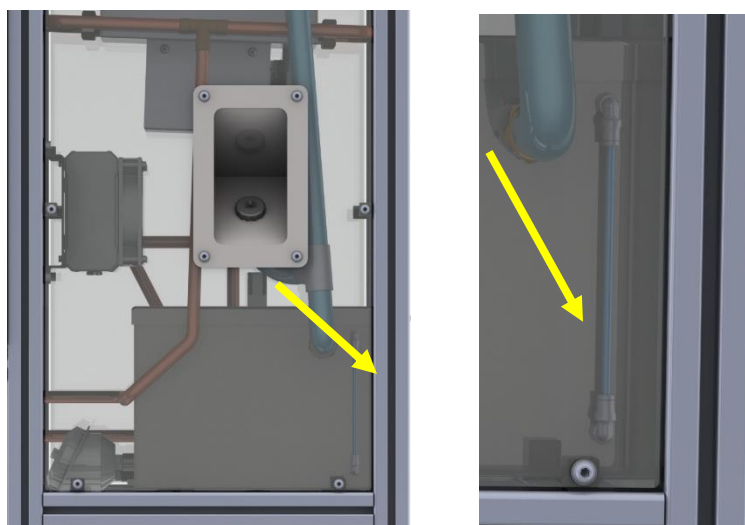


Figura 85 - Visor nivel de agua en depósito a través de las protecciones

4. MANTENIMIENTO

4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A continuación, se detallan los mantenimientos preventivos que se deberán cumplir rigurosamente para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina:

Técnico	ACCIONES MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Antes de iniciar ensayo	Fin de ensayo	Mensual	500 ciclos o semestral	Anual
Operario	Revisar el nivel de agua en el depósito inferior					
	Limpiar y secar depósito superior					
	Revisar que no existen fugas de agua en el suelo					
Mantenimiento	Verificar circuito hidráulico (bomba, radiador, electroválvulas, récords y tuberías)					
	Desmontar y limpiar boquillas del depósito superior					
	Revisar roscas de los casquillos porta-sondas					
	Limpiar y comprobar frenos en ruedas					
	Revisar funcionamiento de ventiladores refrigeración					
	Comprobar elementos de seguridad y limpiar conexiones					
	Comprobar que en los casquillos se alcanzan los 400�C					
	Revisar cuadro eléctrico y reapretar conexiones					

Tabla 10 - Tabla mantenimiento preventivo

4.2. AVERÍAS Y CAUSAS

En este apartado se plantean los distintos tipos de fallo o avería y cuál podría ser su posible causa. En la siguiente tabla no se contemplan averías eléctricas y solo se hace mención a las causadas por sensores o actuadores.

Proceso	Problema	Causa
Calentamiento	No se alcanza la temperatura deseada en las resistencias	Resistencias en mal estado
		Termopar resistencias en mal estado
	No se alcanza la temperatura deseada en las sondas lambda	Resistencia/s en mal estado
		Termopar sondas lambda en mal estado
Llenado	No se alcanza el nivel deseado de agua en el depósito superior	Bomba no está impulsando
		Depósito inferior no tiene agua
		Electroválvula llenado [E1] bloqueada en posición cerrado
		Sensor de nivel en mal estado
Inmersión	El nivel de agua no permanece fijo si no que sigue subiendo	Interruptor de nivel en mal estado
		Electroválvula llenado [E1] bloqueada en posición abierta
Vaciado	El nivel de agua del depósito superior no desciende	Electroválvula vaciado [E2] bloqueada en posición cerrado
Recirculación	La temperatura del agua no disminuye	Electroválvula [E3] bloqueada en posición cerrado
		Radiador sucio u obstruido
		Ventiladores no se activan
Cualquier etapa	Bomba agua no impulsa agua	Nivel de agua en el depósito inferior por debajo del mínimo
		Fuga de agua por las tuberías
		Proceso de calentamiento incompleto

4.3. RECAMBIOS PRINCIPALES

MARCA/ DISTRIBUIDOR	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	UDS
THERMALTAKE	PACIFIC CL480	Radiador	1
EBM PAPST	4118N/2H8P	Ventilador Axial DC	3
ELESA GANTER	GN 1362-NI-80-80-A-BL	Bisagra	4
ELESA GANTER	M.443/110-CH-C9	Maneta	1
ELESA GANTER	RE.FF-080-SBF-N	Rueda fija	2
ELESA GANTER	RE.FF-080-PBL-N	Rueda pivotante	2
ELESA GANTER	GN 333-28-350-B-EL	Asa	1
ELECTRICFOR	RCFRC500510	Resistencia encasquillada	6
BCN BOMBAS	SLR 25/6-180	Bomba de agua 100W 230V	1
SIEMENS	S7-1200	PLC	1
SMC	VXZ232AGA	Electroválvula 2 vías agua	2
SMC	VXZ235BGA	Electroválvula 2 vías agua caliente	1
Cynergy3	317-932	Nivel de agua	2
RS	872-2773	Sonda termométrica (PT100)	1
SCHMERSAL	AZM 161-12/12	Bloqueo de seguridad	1

5. ASPECTOS ECONÓMICOS

Todo proyecto de ingeniería se realiza para satisfacer una necesidad. El cliente obtiene algo que necesita mientras que el proveedor obtiene un beneficio económico, logrando así una relación de simbiosis entre ambas partes.

En este apartado se analiza el coste económico total del proyecto y los beneficios que obtiene el cliente con el producto obtenido para así poder valorar la rentabilidad del proyecto.

Como se puede ver en el apartado de anexo “1. Precio estimado del proyecto”, el proyecto costaría aproximadamente 17.663€, teniendo en cuenta materiales, horas de diseño, montaje, pruebas y documentación.

Para saber el tiempo que tardará en amortizarse este proyecto, se tendrá en cuenta lo dicho en el apartado “2.1.2 Necesidades del cliente”, donde se comenta que este test se empezó a realizar manualmente, pero se dejó de lado al ver la cantidad de horas que llevaba, la peligrosidad y los defectos que surgieron en las sondas.

Por este motivo, no solo se debe tener en cuenta el ahorro económico de no tener un técnico realizando el ensayo manualmente, si no otros, como son los costes que pueden generar la no calidad por devoluciones, la baja de un usuario por culpa de una mala praxis o accidente durante el ensayo debido a una quemadura.

5.1. CÁLCULO DE AMORTIZACIÓN

Datos para el cálculo

Coste del técnico de laboratorio a la empresa: 30€/h

Coste del técnico de laboratorio a la empresa	30€/h
Duración de un ciclo realizado de forma manual	10 min
Cantidad de ciclos en un ensayo estándar	50 ciclos
Frecuencia de realización del ensayo (cada lote de producción)	1 a la semana aprox

Por lo tanto, podríamos decir que:

La duración total de un ensayo (50 ciclos) es de:

$$\left(\frac{10\cancel{\text{min}}}{\cancel{\text{ciclo}}}\right) * \left(\frac{1h}{60\cancel{\text{min}}}\right) * 50 \text{ ciclos} = 8,33h$$

Cada ensayo tendrá un coste de:

$$8,33h * \frac{30\text{€}}{h} = 250\text{€}$$

Lo que al final del año representa un coste de:

$$\frac{250\text{€}}{\text{ensayo}} * \frac{4 \text{ ensayos}}{\text{mes}} * 12 \text{ meses} = 12000\text{€}$$

Con lo cual, si pensamos que a día de hoy en la industria se busca una amortización de los proyectos a dos años estamos ante una cifra nada despreciable, ya que si realizamos el balance tras un par de años vemos que:

$$12000\text{€} * 2 \text{ años} = 24000\text{€}$$

$$24000\text{€} - 17663\text{€}(\text{inversión inicial}) = 6337\text{€}$$

Por lo tanto, en el segundo año ya se estarían dejando de perder 6300€ en realizar el ensayo de forma manual, y se estaría ganando en calidad, control del proceso y homogeneidad en los ensayos realizados.

6. CONCLUSIONES

Desde los inicios del proyecto y durante su desarrollo, nos hemos encontrado con todo tipo de problemas que hemos tenido que solventar. A veces volviendo atrás, cambiando diseños, modificando esquemas y cuestionando nuevamente aquello que se daba por válido.

Fue difícil darle forma a la máquina, plantear los procesos, elegir los componentes y sus ubicaciones, pero ahora, al mirar hacia aquellos inicios y viendo todo el recorrido realizado, vemos que todas las decisiones tomadas en el camino tienen un sentido y un porqué, y nos vamos con la sensación de que hemos aprendido con cada problema que hemos resuelto, ya sea a través de una prueba empírica o de un cálculo.

Hemos aprendido que no se puede resolver un gran problema de una sola vez, y que la clave del éxito es desglosarlo en partes más pequeñas e ir resolviéndolo poco a poco y ordenadamente. Y realmente así se hizo, dividiendo la máquina en diferentes procesos y subconjuntos y tratándolos y analizándolos por separado para sacar lo mejor de cada uno de ellos.

La decisión más importante tomada en el proyecto fue la de realizar un pequeño prototipo del sistema de calentamiento, (fase más importante del proyecto) con el fin de confirmar si ese método era factible y funcional.

Realizar esa primera inversión sin saber si el resultado iba a ser el esperado, nos hizo ver la importancia de lo que supone realizar un proyecto sin saber si lo que uno está haciendo será tal y como lo espera o diseña, y el intentar asegurar el éxito del proyecto arriesgando lo mínimo y viendo si se está bien encaminado.

Otro de los factores claves del proyecto ha sido el poder fabricarlo y ver como no se quedaba solo en el papel, ya que de esta forma hemos podido comprobar con hechos aquello que estaba en nuestra mente, por lo que consideramos que el aprendizaje ha sido doble y agrega una experiencia extra a nuestra joven carrera como ingenieros.

Por último, cabe decir que nuestra mejor aliada para realizar satisfactoriamente este proyecto ha sido la organización, ya que la división de tareas y definición de responsabilidades ha hecho el trabajo más llevadero, ya que es fácil perder la coordinación a pesar de solo ser dos personas, por lo que también hemos crecido en ese aspecto.

7. AGRADECIMIENTOS

Primeramente, nos gustaría agradecer a las empresas, UMPI3D y Francisco Alberó (FAE), por dejarnos realizar este proyecto conjunto, aportando los medios necesarios para el diseño y las pruebas realizadas. Además de confiar en nosotros, dotándonos de autonomía para organizar el proyecto, dentro de los límites establecidos.

También agradecer a todos los profesores de la universidad por todo lo aprendido, gracias a ellos hemos sido capaces de diseñar una máquina cubriendo las necesidades del cliente.

Finalmente, agradecer a nuestra familia y parejas, la paciencia que han tenido con nosotros durante estos meses de duro trabajo en los que no hemos podido dedicarles todo el tiempo que habríamos deseado y requerían.

8. BIBLIOGRAFÍA

- UMPI3D<www.umpi3d.com>
- FAE<www.fae.es>
- España. UNE-EN ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- España. UNE-EN 1837:1999+A1:2010 Seguridad de las máquinas. Iluminación integrada en las máquinas.
- España. Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- España. UNE-EN ISO 4413:2011 Transmisiones hidráulicas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4413:2010).
- España. UNE-EN ISO 13732-1:2008 Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de la respuesta humana al contacto con superficies. Parte 1: Superficies calientes.
- Comunidad Europea. Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas.
- Ralf Moos, A Brief Overview on Automotive Exhaust Gas Sensors Based on Electroceramics. [Consultado 5 octubre 2018]
Disponible en:
<<https://pdfs.semanticscholar.org/c24c/608748d206a0a349705f726003fb9a7666aa.pdf>>
- Jürgen Gerhardt, *ME-Motronic engine management*. [Consultado: 5 octubre 2018]
Disponible:
<<https://www.motor-talk.de/forum/aktion/Attachment.html?attachmentId=756928>>
- Universitat de València, *Termodinámica de procesos electroquímicos*. [Consultado: 7 octubre 2018]
Disponible: <https://www.uv.es/tunon/Master_Ing_Bio/tema_5.pdf>
- M.S. Jóvai, *Motores de automóvil: teoría, cálculo y estructura de los motores de combustión interna*.
- Balances de energía, [Consultado: 20 octubre 2018]
<<http://www3.fi.mdp.edu.ar/procesosindustriales1/archivos/Balance%20de%20energia>>
- Tabla conductividad térmica, [Consultado 26 octubre 2018]
Disponible:
http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php
- Pressman, Pérdida de carga en tuberías [Consultado 26 octubre 2018]
Disponible: <<http://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rdida-de-Carga-en-Tuber%CC%81as.pdf>>
- Propiedades del agua, [Consultado 26 octubre 2018]
Disponible: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Propiedades_del_agua>
- Ray Sinnott / Gavin Towler, *Diseño en ingeniería química*. Editorial Reverté S.A. 2012. ISBN: 978-84-291-7199-0
- Sondas termométricas [Consultado 12 noviembre 2018]
<<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/15e7/0900766b815e7664.pdf>>
- Antonio Rodríguez Mata, *Sistemas de medida y regulación*. THOMSON Paraninfo, 2ª Edición. ISBN 84-9732-221-5